



UNIVERSITAT POLITÈCNICA DE CATALUNYA
BARCELONATECH

Escola Superior d'Enginyeries Industrial,
Aeroespacial i Audiovisual de Terrassa

ESEIAAT
Trabajo Final de Grado
Mención en Automóviles

Estudio de los sistemas de regulación de velocidad de vehículos en vías urbanas e interurbanas

Memoria

Grado: Ingeniería en Tecnologías Industriales

Fecha de entrega: 10-06-2018

Autor: Cañamero Martínez, Albert

Tutor: Ortiz Marzo, José Antonio

Índice

Índice de tablas	4
Índice de Figuras	5
1. Introducción	10
1.1. Objeto.....	10
1.2. Alcance	10
1.3. Justificación y utilidad	10
2. Estado del arte	11
2.1. Entorno.....	11
2.1.1. Radar de velocidad.....	11
2.1.2. Badenes.	17
2.1.3. Señales de tráfico.	23
2.2. Vehículo.....	33
2.2.1. Regulador/Limitador de velocidad.....	33
2.2.2. HUD	36
2.3. Seguridad vial	39
2.3.1. Cursos de conducción.....	40
2.3.2. Carné de conducir	44
3. Estudio de los accidentes	46
3.1. Las declaraciones de los testimonios	46
3.2. Las lesiones de los pasajeros.....	47
3.3. Los desperfectos del vehículo	47
3.4. El comportamiento dinámico del vehículo	49
3.5. Las marcas de deslizamiento.....	50
3.6. Los movimientos del vehículo después del accidente	52
3.7. Conclusiones.....	52
4. Estudio de una vía interurbana	53
4.1. Análisis de la carretera	55

4.2. Análisis de la velocidad	73
4.2.1. Adquisición de medidas	74
4.2.2. Problemas encontrados con las mediciones	89
4.2.3. Situaciones peligrosas avistadas	90
4.3. Soluciones a corto plazo.....	96
4.4. Soluciones a largo plazo	123
5. Estudio de una vía urbana.....	125
5.1. Análisis del tramo	125
5.2. Análisis de los badenes	134
5.3. Soluciones a corto plazo.....	138
5.4. Soluciones a largo plazo	140
6. Impacto medioambiental	142
6.1. Impacto medioambiental de las soluciones.....	142
6.2. Impacto medioambiental del estudio.	143
7. Presupuesto.....	145
8. Conclusiones.....	146
9. Planificación siguiente fase	147
10. Bibliografía	148

Índice de tablas

Tabla 1. Adherencia en función de la velocidad	29
Tabla 2. Recomendación de velocidad en función del radio de la curva	29
Tabla 3. Número de paneles en función de la diferencia de velocidad	30
Tabla 4. Mediciones km.10,10 en sentido Martorell	75
Tabla 5. Grupo de vehículos registrado en el km.10,10.....	80
Tabla 6. Mediciones km.3 sentido Terrassa	84
Tabla 7. Mediciones km.3 en sentido Martorell	85
Tabla 8. Mediciones km.5 en sentido Terrassa	86
Tabla 9. Mediciones km.5 en sentido Martorell	88
Tabla 10. Visibilidad mínima en función de la velocidad y la pendiente. Fuente: [19].....	97
Tabla 11. Distancia de visibilidad geométrica mínima a una señal de limitación de velocidad. Fuente: [19].....	98
Tabla 12. Limitaciones de velocidad superiores a 50 km/h en travesía. Fuente: [19]	115
Tabla 13. Presupuesto del estudio	145

Índice de Figuras

Figura 1. Maurice Gatsonides sosteniendo el Gatsometer. Fuente: Autocasion.com	11
Figura 2. Multanova 6F. Fuente [9]	13
Figura 3. Autovelox 105SE. Fuente [9]	14
Figura 4. Laser perpendicular. Fuente [9]	14
Figura 5. Radar de tramo. Fuente: Miratusmultas.com	15
Figura 6. Diferentes colocaciones del Velolaser. Fuente: Canariasenmoto.com	16
Figura 7. Dimensiones paso peatonal sobreelevado. Fuente [16]	18
Figura 8. Dimensiones resalto lomo de asno. Fuente [16]	19
Figura 9. Badén ilegal situado en Cerdanyola del Vallès	20
Figura 10. Señal R-301 a 40 km/h. Fuente: estampacionescasado	23
Figura 11. Señal R-501 a 40 km/h. Fuente: Wikimedia commons	24
Figura 12. Señal S-7 a 40 km/h. Fuente: Wikimedia commons	24
Figura 13. Señal P-1. Fuente: Wikimedia commons	25
Figura 14. Señal P-13b. Fuente: Wikimedia commons	25
Figura 15. Señal P-14b. Fuente: Wikimedia commons	26
Figura 16. Señal P-20. Fuente: Wikimedia commons	26
Figura 17. Cartel recordatorio separación entre vehículo y ciclistas. Fuente: @PIUC243c	27
Figura 18. Señal P-24. Fuente: Wikimedia commons	27
Figura 19. Panel balizamiento simple. Fuente [16]	28
Figura 20. Panel balizamiento doble. Fuente [16]	28
Figura 21. Panel balizamiento triple. Fuente [16]	28
Figura 22. Distancia de frenado. Fuente: @PIUC243c	31
Figura 23. Regulador de velocidad Chrysler 1958. Fuente [12]	33
Figura 24. Control de velocidad adaptativo. Fuente [14]	34
Figura 25. HMU. Fuente: pinterest.com	37
Figura 26. BMW Serie 3 HUD. Fuente: thepinsta.com	37
Figura 27. Smartphone haciendo la función del HUD. Fuente: pinterest.com	38
Figura 28. Postura correcta de conducción. Fuente: race.es	41
Figura 29. Frenada con esquiva en mojado. Fuente [4]	42
Figura 30. Vista aérea de la C-243c. Fuente: Google earth	53
Figura 31. C-243c km.12 en sentido Martorell. Fuente: Google earth	55
Figura 32. C-243c km.12 en sentido Terrassa. Fuente: Google earth	56
Figura 33. C-243c km.11,5 en sentido Martorell. Fuente: Google earth	57

Figura 34. C-243c km. 11 en sentido Martorell. Fuente: Google earth	57
Figura 35. Señalización cruce km.9,5 en sentido Martorell. Fuente: Google earth.....	58
Figura 36. Cruce km.9,5 en sentido Martorell. Fuente: Google earth	58
Figura 37. Tráiler sin respetar la distancia de seguridad.....	59
Figura 38. Paso del sendero a través de la carretera en km.8,25. Fuente: Google earth.....	60
Figura 39. Señalización cruce km.7,75 en sentido Martorell. Fuente: Google earth.....	61
Figura 40. Cruce km.7,75. Fuente: Google earth	61
Figura 41. Señalización previa a curva peligrosa en sentido Martorell	62
Figura 42. Barrera de seguridad reformada	62
Figura 43. Entrada a camino rural en km.4,5	63
Figura 44. Vista del cambio de rasante en sentido Martorell. Fuente: Google earth.....	64
Figura 45. Vista una vez superado el cambio de rasante. Fuente: Google earth.....	65
Figura 46. Cruce de entrada km.4 en sentido Martorell. Fuente: Google earth.....	65
Figura 47. Vista aérea cruce km.4 . Fuente: Google earth	66
Figura 48. Adelantamiento utilizando el carril de aceleración contrario. Fuente: @PIUC243c .	67
Figura 49. Señal de stop derribada en cruce km.4. Fuente: @PIUC243c.....	67
Figura 50. Señal R-501 en urbanización Can Santeugini en sentido Martorell.	68
Figura 51. Señalización previa a curva en sentido Martorell. Fuente: Google earth.....	69
Figura 52. C-243c km. 0,5 en sentido Terrassa	70
Figura 53. Señalización previa al cruce del km. 0,75 en sentido Martorell	71
Figura 54. Señalización previa al cruce del km. 0,75 en sentido Terrassa	71
Figura 55. Señalización previa a la curva del km. 3 en sentido Terrassa	72
Figura 56. Vista aerea de los puntos de medición en C-243c. Fuente: Google earth	73
Figura 57. Gráfica mediciones km. 10,10 en sentido Martorell	81
Figura 58. Gráfica mediciones km.3 en sentido Terrassa	84
Figura 59. Gráfica mediciones km. 5 en sentido Terrassa.....	87
Figura 60. Peaton cruzando la calzada en urbanización Can Santeugini	90
Figura 61. Conductor circulando mientras utiliza el teléfono móvil	91
Figura 62. Zona de adelantamientos peligrosos en km.5	92
Figura 63. Señal de neumaticos de un camión	93
Figura 64. Ciclistas en la C-243c. Fuente: @PIUC243c	94
Figura 65. Vista aerea tramo km.12,9 - 10. Fuente: Google earth.....	96
Figura 66. Señalización km. 12	98
Figura 67. Señalización km. 10,5	99
Figura 68. Señalización km. 11,25	100

Figura 69. Vista aerea tramo km. 10,5 - 8. Fuente: Google earth.....	100
Figura 70. Señalización recta km. 10,5 - 10.....	101
Figura 71. Vista detalle de la señalización en la recta del km. 10,5 – 10	102
Figura 72. Señalización km. 9,5	103
Figura 73. Señalización tramo km. 8,5 – 8	105
Figura 74. Señalización cruce del km. 7,75	107
Figura 75. Vista aerea del tramo km. 7,75 - 5. Fuente: Google earth.....	108
Figura 76. Señalización tramo de curvas enlazadas del km. 7,75 – 7	109
Figura 77. Señalización curva peligora del km. 7	111
Figura 78. Señalización del tramo km. 6 – 5.....	112
Figura 79. Señalización recta del km. 5	114
Figura 80. Vista aerea del tramo km. 4 - 2. Fuente: Google earth.....	115
Figura 81. Señalización cruce en el km. 4 de la urbanización Can Santeugini	117
Figura 82. Señalización cruce de la urbanización Can Santeugini en el km. 3	118
Figura 83. Vista aerea del tramo km. 1 - 0. Fuente: Google earth.....	119
Figura 84. Señalización cruce del km. 1	120
Figura 85. Señalización de la urbanización del km. 0,5.....	121
Figura 86. Diferencia entre señal horizontal cebrado y continua.....	122
Figura 87. Cebrado con balizamiento en BP-1417. Fuente: Google earth.....	122
Figura 88. Señalización inicio tramo urbano	125
Figura 89. Badenes ilegales después del cruce entre avenida España y avenida Roma	126
Figura 90. Paso de peatones al final de Av. España. Fuente: Google earth.....	126
Figura 91. Señal de ciclistas pintada en el suelo	127
Figura 92. Badén ilegal en malas condiciones.....	128
Figura 93. Señal de aviso por resalto con límite de velocidad	129
Figura 94. Vista después de cruce en Av. Argentina	131
Figura 95. Badén con tornillería de sujeción a su alrededor.....	132
Figura 96. Vista a 100 m del cruce en Av. Argentina.....	133
Figura 97. Vista a 50 m del cruce en Av. Argentina.....	133
Figura 98. Vista a 10 m del cruce en Av. Argentina.....	133
Figura 99. Primer tipo de badén prefabricado en tramo urbano	134
Figura 100. Segundo tipo de badén en tramo urbano	135
Figura 101. Tercer tipo de badén prefabricado en tramo urbano	135
Figura 102. Pintura desgastada en paso peatonal sobreelevado en Av. Argentina	137
Figura 103. Vista del conductor al final del tramo urbano	139

Figura 104. Vista aérea de badenes al inicio de Av. Argentina	140
---	-----

1. Introducción

1.1. Objeto

Estudiar el estado del arte de los diferentes sistemas de regulación de velocidad para vehículos tanto a nivel de vehículo, como de entorno y seguridad vial. Aplicar todos los conocimientos obtenidos a la práctica y realizar el estudio y la propuesta de soluciones a una vía interurbana y a una vía urbana.

1.2. Alcance

Con este estudio se pretende presentar las posibles soluciones a los problemas de velocidad y seguridad que presente tanto la vía urbana como la interurbana. Esto se conseguirá a partir del estudio del arte de los diferentes sistemas de control de velocidad a nivel de entorno, vehículo y seguridad vial, junto con el estudio previo de la carretera. Mediante las diferentes normativas actuales, se presentará un abanico de soluciones a corto y largo plazo. Este estudio no contemplará el cálculo de la inversión necesaria para llevar a cabo estas mejoras o soluciones.

1.3. Justificación y utilidad

La gran cantidad de accidentes y siniestros que hay cada año en las vías interurbanas y la falta de seguridad para los peatones y los numerosos badenes que no cumplen con la normativa en el entorno urbano motivan la realización de este estudio. El deterioro en la calidad del aire y el colapso de las vías interurbanas en las zonas cercanas a las grandes ciudades a causa de la cantidad de vehículos que circulan cada día, hacen necesaria una remodelación de las carreteras para poder hacer frente a este crecimiento de vehículos. A su vez, las ciudades no son capaces de hacer frente al volumen actual de vehículos y por lo tanto, estas se tienen que volver a centrar en el peatón y mejorar la movilidad de este a través de potenciar las zonas peatonales y el uso de la bicicleta y el transporte público. Estas dos últimas a partir de construir más carriles bici y carriles bus que conecten toda la ciudad.

Con todo esto se pretende, en el caso de las vías interurbanas, volver a conseguir una circulación fluida y segura, que a su vez provocará un aumento en la calidad del aire de la zona y una reducción en el número de accidentes. En el caso de las vías urbanas, hará de las ciudades un entorno dedicado y construido para el peatón, donde la movilidad será rápida, limpia y segura.

2. Estado del arte

Con el objetivo de repasar los diferentes sistemas de control de velocidad que existen a nivel de entorno, vehículo y seguridad vial, en este punto se hará un repaso de la historia de los diferentes sistemas. De esta manera, cuando se realice el estudio de las carreteras, se podrán aplicar más diferentes tipos de medidas.

2.1. Entorno

En este apartado se comentarán los diferentes sistemas de control de velocidad que existen a nivel de entorno, repasando desde sus inicios hasta las futuras tecnologías que se pretenden aplicar a corto y largo plazo.

2.1.1. Radar de velocidad

Como se puede leer en el artículo [6], el inventor de la primera cámara de velocidad fue Maurice Gatsonides, un apasionado del mundo del motor. Él estaba obsesionado con mejorar su conducción, quería medir la velocidad a la que pasaba por una curva del circuito para así poder saber si variando su manera de atacar las curvas, aumentaba su velocidad de paso o no. Después de muchos intentos fallidos acabó recurriendo a la tecnología del radar que, aprovechándose del efecto Doppler, le permitía saber con precisión a qué velocidad entraba en la curva. Pero no acabo contento con ese invento ya que no podía saber en qué momento entraba en la curva y cómo reaccionaba el coche, así que añadió una cámara fotográfica que hacia una foto cuando el radar detectaba una velocidad. A este invento lo llamó Gatsometer y se puede considerar como la primera cámara de velocidad, patentada en el año 1958.



Figura 1. Maurice Gatsonides sosteniendo el Gatsometer. Fuente: Autocasion.com

Durante años se fue perfeccionado el modelo de Gatsonides, se mejoró la calidad del objetivo de la cámara y la precisión del radar a medida que la tecnología lo permitía, pero siempre basándose en el mismo principio.

A partir de 1960, que fue cuando se construyó el primer láser que funcionaba, no se pasaron por alto las ventajas que aportaba el láser, una de ellas era su precisión. Es decir, al ser también una onda también sufría el efecto Doppler, por tanto, también se podía utilizar para la medición de velocidades de móviles. A estos aparatos se los denominó LIDAR, este nombre proviene del inglés y significa *Laser Detection and Ranging*.

Si se compara los radares por ondas de radio con los que funcionan por láser, el láser ofrece muchas más ventajas. Con el láser, la principal ventaja radica en la forma que tiene la onda láser de desplazarse en comparación con las ondas de radio, el haz láser no diverge tanto y, por tanto, se puede apuntar el láser a un lugar concreto y medir la velocidad de ese objeto aunque haya más objetos en movimiento al alrededor. Los resultados de la lectura tardan 3 décimas de segundo en aparecer, lo que no da capacidad al conductor de reaccionar al ver el radar. También son más fáciles de manejar, económicos y fáciles de mantener. La única desventaja de los radares láser en comparación al de ondas de radio radica en que el láser debe estar completamente quieto en el momento de realizar la medición, por tanto, no se pueden realizar mediciones en movimiento y con el de ondas de radio sí que se puede.

Actualmente la Dirección General de Tráfico, más adelante nombrada como DGT, tiene tres diferentes tipos de cinemómetro en funcionamiento. Se diferenciarán los tipos en función de la tecnología que utilizan, no se tendrá en cuenta si requieren de un operador o no, o si son fijos o móviles. Los tres tipos son: el cinemómetro por ultrasonidos, el cinemómetro por láser y el cinemómetro de tramo.

2.1.1.1. Cinemómetro por ultrasonidos

El modelo más utilizado de este tipo por la DGT es el Multanova 6F. Este está formado por un radar que lanza una señal de ultrasonidos que atraviesa la carretera en diagonal, una cámara digital, un flash, un ordenador y en el caso de que sea autónomo un módem que proporciona la conexión a internet.



Figura 2. Multanova 6F. Fuente [9]

Este radar ofrece, al ser tan compacto, una muy alta versatilidad ya que se puede colocar como radar fijo, como un móvil alado de la carretera o incluso acoplarlo en un coche para ocultarlo mejor. Recordamos que tal y como se ha comentado anteriormente, esta tecnología es capaz de medir velocidades aunque el radar este en movimiento, por lo tanto es capaz de detectar infracciones aunque el vehículo que lo lleve equipado este circulando como otro cualquiera.

2.1.1.2. Cinemómetro por láser

Dentro de los cinemómetros de láser tenemos dos clases, los que miden la velocidad gracias al efecto Doppler y otros más recientes que miden la velocidad de otra manera.

El LaserCam es el cinemómetro láser más utilizado por la DGT y está formado por una cámara digital con dos lentes y una pistola láser modelo LTI 20-20 Marksman, todo esto conectado a un ordenador para procesar las fotos y la multa. El funcionamiento es el siguiente, cuando la pistola láser detecta que un vehículo supera la velocidad permitida, la cámara digital toma dos fotografías simultáneas, en una se ve el vehículo y el entorno y en la otra se puede observar el vehículo de más cerca para poder leer la matrícula a la perfección.

Los cinemómetros más recientes son los denominados “barrera láser”. De estos cinemómetros el modelo más utilizado por la DGT es el Autovelox 105SE, que está formado por una cámara digital de dos lentes, los dos láseres y un sistema de control para gestionar la multa.



Figura 3. Autovelox 105SE. Fuente [9]

El funcionamiento de este radar consiste en dos haces láser, separados 40 centímetros entre ellos, que atraviesan la carretera perpendicularmente como se observa en la Figura 4. Cuando un vehículo atraviesa los dos haces en un tiempo inferior al de un vehículo circulando a la velocidad máxima permitida, la centralita activa la cámara. Como en el cinemómetro anterior, los dos lentes de la cámara se encargan de tomar una foto del vehículo con el entorno y otra más de cerca para poder leer la matrícula en perfectas condiciones.

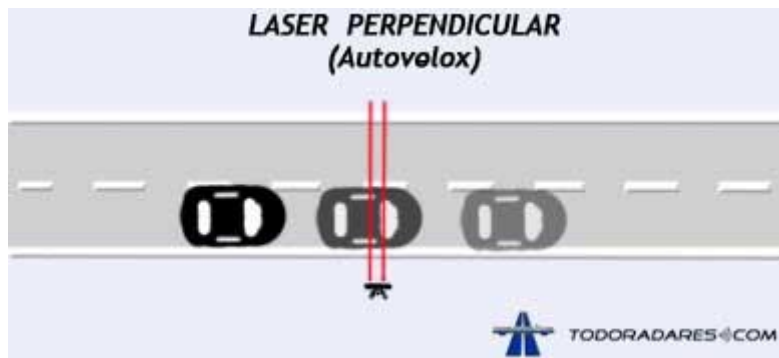


Figura 4. Laser perpendicular. Fuente [9]

2.1.1.3. Cinemómetro de tramo

Este sistema es el más moderno de los tres y también el más sencillo. Está formado por dos cámaras de infrarrojos y un sistema de control que es el encargado de procesar toda la información.

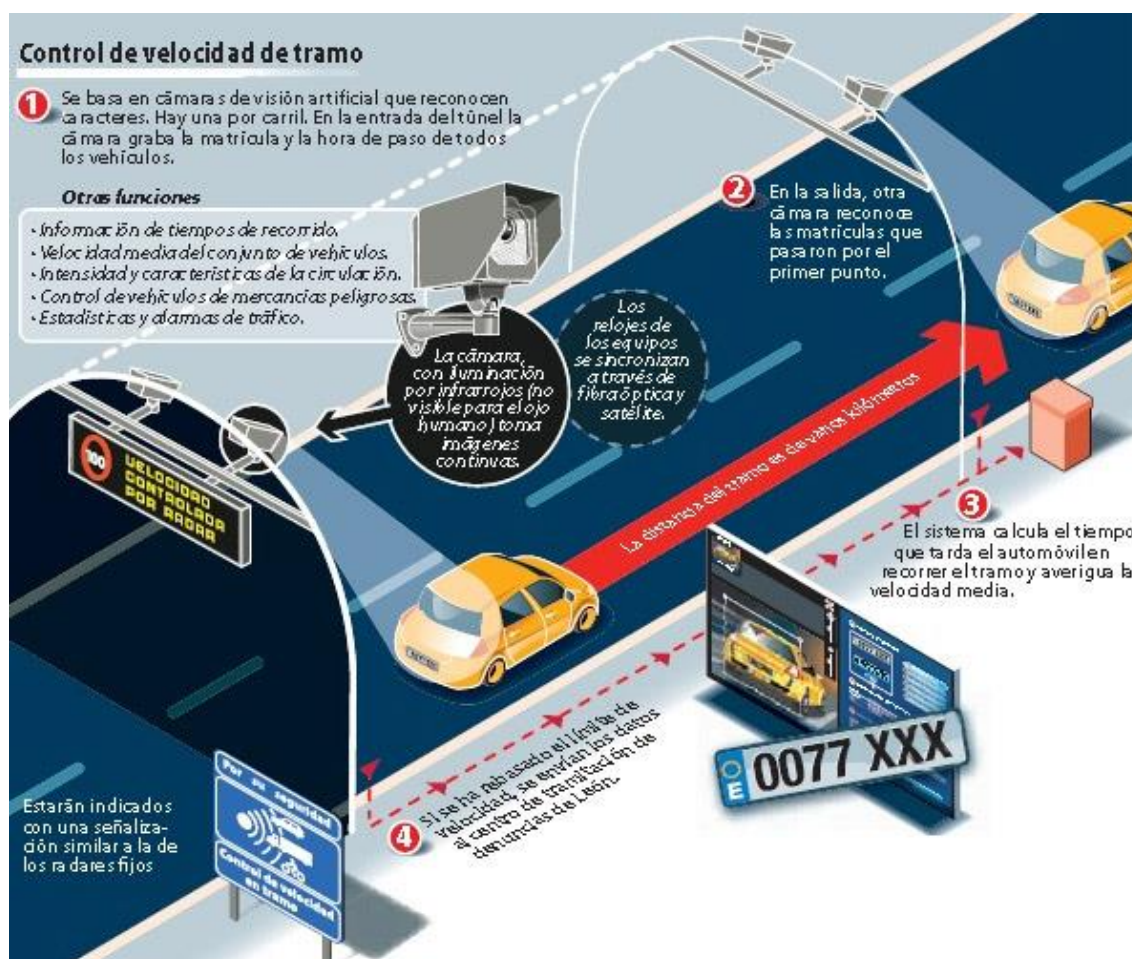


Figura 5. Radar de tramo. Fuente: Miratusmultas.com

El funcionamiento es muy sencillo como se puede observar en la Figura 5, la primera cámara lee la matrícula y empieza a correr el tiempo. En el momento que la segunda cámara lee la matrícula, en el final del tramo, el tiempo se para. Entonces el ordenador calcula la velocidad media del vehículo utilizando el tiempo que has tardado en recorrer una cierta distancia. En el caso que tu velocidad media supere la velocidad máxima permitida en la vía, el sistema de control procesa la multa y la envía a la DGT. En muchas ocasiones, sobre todo en los tramos de carretera donde existan varias entradas y salidas, el radar de tramo está formado por múltiples tramos. De esta manera se consigue que todos los vehículos que se incorporan a la carretera una vez iniciado el

primer tramo o salen de ella antes del último tramo también se les puedan controlar la velocidad.

2.1.1.4. Futuros cinemómetros

La DGT acaba de estrenar los nuevos cinemómetros láser Velolaser, un nuevo modelo de la mano de la empresa Invia Sistemas como podemos leer en la página web [9]. Las ventajas que aporta este modelo, respecto a los actuales, es su tamaño compacto y que todos sus componentes están unidos en un cuerpo único, tal y como se observa en la Figura 6.



Figura 6. Diferentes colocaciones del Velolaser. Fuente: Canariasenmoto.com

El Velolaser está formado por un sensor láser LIDAR, una CPU, una cámara digital, una batería, una carcasa de protección y una *tablet* con conexión WiFi. Su funcionamiento es muy avanzado, permite controlar uno o dos carriles simultáneamente en el mismo sentido de la marcha o en sentidos contrarios. Esta constantemente realizando mediciones de la velocidad hasta que detecta un vehículo que supera el límite de velocidad. En ese momento, realiza una ráfaga de fotos y guarda automáticamente las dos fotos que presenten mejor calidad. Pero lo que marca la diferencia con respecto todos los sistemas actuales es la capacidad de controlar el radar mediante una *tablet* a 50 metros de distancia si están conectados por WiFi o a una distancia ilimitada si se encuentran conectados a la red móvil. Esto significa que de forma remota y con una respuesta prácticamente instantánea se puede controlar el cinemómetro.

Como se puede leer en el artículo [10], en un futuro un poco más lejano, llegarán los denominados súper-radares. Debido al rápido avance de las tecnologías y a las iniciativas privadas, pronto podrían ocupar las carreteras radares capaces de controlar todos los carriles de una autopista. Como por ejemplo el Mesta Fusion, un radar fabricado por la empresa francesa Morpho. Este radar será capaz de vigilar hasta ocho carriles a la vez y multar hasta 32 vehículos diferentes simultáneamente, como se puede leer en el artículo [16]. También será capaz de

sancionar infracciones hasta ahora imposibles, como por ejemplo si un vehículo realiza un adelantamiento ilegal, si pisa una línea continua o incluso si no se respeta la distancia de seguridad.

2.1.2. Badenes.

Como se puede leer en la página web [7], en 1906 el diario *The New York Times* publicó un artículo en el que hablaba de unos pasos de cebra elevados 5 pulgadas respecto al nivel del pavimento de la carretera que se habían instalado en la localidad de Chatham, Nueva Jersey.

Pero la idea de badén fue desarrollada por el físico Arthur Compton después de notar como los automóviles circulaban a alta velocidad por las zonas peatonales de los alrededores de la Universidad de Washington. Compton diseñó dos tipos de badenes, uno de un golpe y otro de dos golpes, siendo el de un golpe el que acabó teniendo mayor éxito y se aplicó no solo en el campus de la universidad sino también en el resto de carreteras. A este tipo de badén lo llamo *Holly hump* y era un badén más alargado y suave que los que hay en la actualidad, en gran parte debido a que los coches de aquella época, con suspensiones muy primitivas, ya sufrían bastante al superarlos lo que provocaba que los conductores disminuyeran la velocidad.

Después de Compton, fue el laboratorio de investigación de carreteras y transporte británico que publicó un estudio sobre como reaccionaban los vehículos a ciertas geometrias de badenes. Pero como en aquella época, los badenes estaban prohibidos en las carreteras públicas, se utilizaron en los caminos privados.

A partir de aquella idea que tuvo el físico Arthur Compton y de las investigaciones llevadas a cabo por otras entidades, los badenes se han utilizado en zonas transitadas por peatones para disminuir la velocidad media de los vehículos que la transitan con el objetivo de disminuir al máximo los atropellos. Con el tiempo han ido aumentando su tamaño y modificando los materiales que se utilizan para seguir provocando que los conductores reduzcan la velocidad por mucho que la tecnología de las suspensiones de los vehículos evolucionen.

2.1.2.1. Badenes actuales

Según la normativa [21], existen tres tipos de badenes o reductores de velocidad en España: el paso peatonal sobreelevado o de sección central trapezoidal, el lomo de asno o de sección transversal circular y el prefabricado.

Pero primero de todo hay que explicar la diferencia entre badén y resalto. Si se echa un vistazo al documento [19], un badén es una hendidura en la carretera que se utiliza para dar paso a un caudal de agua en caso de lluvias. En cambio, el resalto es una parte que sobresale de la carretera. Pero a causa del uso por parte de la gente de la palabra badén para referirse a los reductores de velocidad, el término badén se ha acabado aceptando y ahora es correcto utilizar esta palabra para referirse a los reductores de velocidad.

El paso peatonal sobreelevado según la normativa debe tener una zona central de 10 centímetros de altura y cuatro metros de longitud con dos rampas que en función de la velocidad serán de mayor o de menor longitud. Las longitudes de las rampas varían de la siguiente manera:

- Zona limitada a 30 km/h → 1 metro máximo de longitud.
- Zona limitada a 40 km/h → 1,5 metros máximos de longitud.
- Zona limitada a 50 km/h → 2,5 metros máximos de longitud.

Un requisito también muy importante en este tipo de reductores de velocidad es que entre el principio de la rampa y el asfalto no puede haber una diferencia mayor de 5 milímetros para evitar averías en los vehículos que pasan por él.

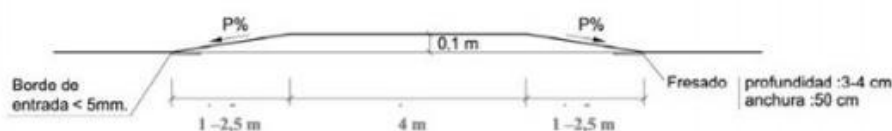


Figura 7. Dimensiones paso peatonal sobreelevado. Fuente [16]

El lomo de asno según normativa está confeccionado en un material plástico resistente con una zona sobreelevada de 6 centímetros de altura y 4 metros de largo. La normativa también deja claro que no se podrán utilizar estos badenes como pasos de peatones en ningún caso. Igual que con el otro reductor de velocidad, la diferencia entre el inicio de la rampa y el asfalto no debe ser mayor de 5 milímetros.

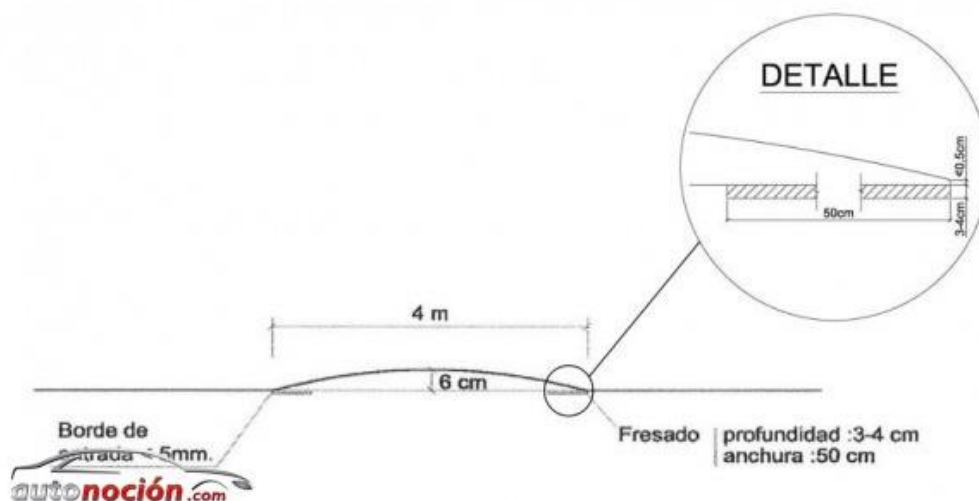


Figura 8. Dimensiones resalto lomo de asno. Fuente [16]

En el apartado de los resaltos prefabricados aparecen dos tipos, los que son para velocidades de 50 km/h y los que son para velocidades menores a esta. Los que se pueden instalar en tramos de 50 km/h deberán hacer como mínimo 60 cm de longitud y no tener una altura superior a 3 cm. Para los otros la longitud puede estar entre 60 y 120 cm y la altura entre 5 y 7 cm. Estos últimos pudiéndose instalar de forma excepcional por la presencia de obras o en tramos donde la velocidad de circulación sean inferior a 50 km/h, como hemos dicho anteriormente. Lo que se deja claro con respecto a estos resaltos es que los módulos de los que están formados deben pasar una inspección antes de ser instalados, y si durante la instalación se detecta cualquier defecto que pueda poner en peligro la seguridad de los vehículos, este se desecha y se instalará uno nuevo. También habrá que prestar atención al borde de entrada, que sigue sin poder ser superior a 5 mm. Por tanto, en el momento de instalar este tipo de resaltos se deberá hacer un hendidura de mínimo 3 o 4 cm de profundidad y 50 cm de anchura con el objetivo de que se consiga el borde de entrada permitido. En la normativa actual no aparecen más tipos de

badenes permitidos, y por tanto, como dice en el final de esta misma, cualquier badén que no cumpla con las características descritas anteriormente será ilegal.

Si se conduce habitualmente por zonas urbanas es fácil que darse cuenta de que ni la mitad de los badenes que se encuentran son legales. El único motivo por el que estos badenes existen es el ahorro de costes. Si se pone por caso que un ayuntamiento quiere instalar un paso peatonal sobreelevado en una zona escolar, deberá asegurarse de que la altura de la acera es de 10 cm, en caso contrario deberá modificarla para igualarla con la altura del paso sobreelevado. También deberá colocar las señalizaciones pertinentes para avisar a los conductores de que hay un badén debido a que es una zona escolar. Y sobre todo, antes de realizar la construcción de este deberá asegurarse de que no hay otro badén en la misma calle a menos de 50 o a más de 200 metros, porque si es así no solamente tendrá que construir un paso sobreelevado sino también construir o modificar los existentes para cumplir con la normativa al 100%.

Los badenes rectangulares que ocupan menos de un carril de ancho son los más utilizados para ahorrar costes. Estos son fáciles de instalar y debido a sus formas y dimensiones aseguran que los conductores ralentizaran la marcha.



Figura 9. Badén ilegal situado en Cerdanyola del Vallès.

Pero como se ha dicho anteriormente, no solo es poner un badén sino que también se debe señalizar la presencia de estos, porque en caso contrario, se pueden convertir en un peligro para los conductores. No parece imposible pensar en la siguiente situación, calle urbana limitada a 50 km/h y un badén de este tipo colocado antes de un paso peatonal y sin señalización alguna. Si conforme el conductor se aproxima alguien aparece y cruza de repente la carretera, por mucho que frenara de golpe, no conseguiría detenerse a tiempo debido al golpe que provocaría el badén y que impediría que las ruedas mantuviesen el contacto con el suelo y frenaran el coche. O por ejemplo si circulara de noche a 50 km/h, debido a la falta de señalización y de

pintura reflectante en el badén, no lo apreciaría y provocaría que perdiera el control del coche y tuviese un accidente.

Estas dos situaciones anteriores que pueden parecer del todo cotidianas se convierten en situaciones de alto peligro para todos los usuarios de la vía por el mero hecho del ahorro de costes. Todo esto sin pensar en que el vehículo que se podría ver involucrado sería una ambulancia que circulase en servicio de emergencia. Por tanto, la manera correcta de señalizar un resalto será la siguiente:

- Señal R-301 que indique la velocidad máxima permitida. Únicamente se instalara en el caso que la velocidad máxima permitida sea diferente a la que había en el tramo anterior al badén.
- Señal P-15a que indique la presencia de un resalto.
- Señal P-20 que indique la presencia de peatones en la calzada. Esta únicamente será obligatoria cuando nos acerquemos a un paso de peatones sobreelevado y será aconsejable cuando después del badén haya un paso de peatones.

Estas señalizaciones se situaran antes del primer badén del grupo o del badén aislado. En caso de no disponer de espacio, se podrían colocar dos señales juntas. En el caso de que se trate de un grupo de badenes, se colocara primero una señal P-15 que indique la presencia de varios resaltos en la calzada y después la P-15a que indique que se aproxima el primer badén.

En el caso que exista la presencia de un paso de peatones, la señal R-301 se colocará a la distancia suficiente como para que el vehículo se pueda detener sin problemas y mínimo a 25 metros. La señal del tipo S-13 se colocará justo antes del paso de peatones y únicamente en el caso de que no se visualizara a la suficiente distancia, se estudiarían la posibilidad de colocar la señal en báculo, es decir, colgando en medio de la calzada y a una altura segura mediante un poste.

La iluminación es obligatoria en todos los badenes instalados en el tramo, con el objetivo de que se pueda garantizar su visibilidad de este en todo momento y de todos los peatones que quieren cruzar si se trata de un paso de peatones sobreelevado. Si existe iluminación en todo el tramo, se deberá destacar la de los pasos de peatones.

2.1.2.2. Futuras tecnologías

Las nuevas tecnologías que se empiezan a aplicar en este momento y que marcarán el futuro de los badenes o reductores de velocidad son las que permiten que aparezca el badén cuando no se respeta la velocidad máxima de la carretera y que desaparezca cuando esta se respeta. Esta tecnología ya existe actualmente, es el badén que ha inventado la empresa Vivadén. Como se puede ver en el documento [11], consiste en un badén de tipo lomo de asno que tiene la capacidad de aparecer sólo en los momentos que no se respeta la velocidad máxima. En el estudio que llevaron a cabo durante el periodo de prueba se pudo ver como con este nuevo badén la gente reducía la velocidad a diferencia del sistema actual que no es tan eficaz. Otra de las ventajas de este sistema es que las ambulancias o los autobuses no lo activan y esto aumenta considerablemente el confort de los que van dentro. Lo mismo ocurre en el caso de los ciclistas.

Aunque no se puede considerar un badén o resalto como tal, en los países asiáticos no hace mucho que se empezaron a ver pasos de cebra que se pintaban para tener una apariencia de relieve, es decir, una apariencia 3D. Si se pintaba el sombreado de las líneas blancas, se conseguía que los vehículos disminuyeran la velocidad considerablemente debido a que creían que era una especie de resalto. Villareal ha sido el primer municipio de España donde se ha implantado este tipo de paso de cebra, y se ha hecho en una calle donde los vehículos tienden a superar la velocidad máxima con normalidad, como se puede leer en el artículo [23]. Pero como se puede llegar a imaginar, es un dispositivo que no tiene ningún efecto físico, es decir, una vez los conductores lo conozcan volverán a no reducir la velocidad. Por eso, se ha instalado únicamente uno a modo de prueba en Villareal y así poder averiguar si de verdad consiguen reducir la velocidad de los vehículos y por cuánto tiempo.

2.1.3. Señales de tráfico.

Se tiene constancia de la existencia de señales en las carreteras o caminos desde la época del imperio romano, eran señales que indicaban el camino para llegar a Roma. Pero el primer paso hacia la unificación del lenguaje en las señales de tráfico para vehículos motorizados se dio el año 1908 en París, en el congreso internacional de carreteras. Al año siguiente, algunos países de Europa acordaron la manera de señalizar los baches, curvas, intersecciones y cruce de vías de tren. El empujón final se dio entre 1926 y 1949, que sirvió para desarrollar sistema de señales de tráfico Europeo.

Al principio del siglo 20 y prácticamente hasta la mitad del siglo, las señales eran de hierro fundido. A partir de mediados de siglo, se empezó a utilizar aluminio u otros materiales más ligeros y fáciles de fabricar, lo que provocó que cada vez se utilizara menos hierro fundido. El dibujo de la señal se hacía de plástico y se pegaba al aluminio. El plástico tenía la capacidad de reflejar la luz, de esta manera se conseguía una óptima visualización independientemente de la hora o del tiempo.

A finales del siglo 20 empezaron a aparecer las señales de tráfico electrónicas que permitían informar a los usuarios de la vía de atascos o posibles peligros en la carretera, como por ejemplo hielo en la carretera o un accidente.

A continuación se realizara un repaso de las señales de tráfico que más adelante serán utilizadas para mostrar las soluciones propuestas en los dos tramos de estudio.

El primer tipo de señal es la R-301. La R significa que se trata de una señal circular con borde rojo y fondo blanco, indica prohibición o restricción. El 301 hace referencia a que dentro de las señales de prohibición o restricción, esta señal restringe la velocidad máxima de circulación de la vía en km/h. Independientemente del valor de velocidad que indique, el valor 301 para hacer referencia a esta no variará.



Figura 10. Señal R-301 a 40 km/h. Fuente: estampacionescasado.com

La señal R-501 se colocará al final del tramo con velocidad restringida distinta a la del tipo de carretera, con el fin de indicar el final de este. Es una señal circular con fondo blanco y una línea gris que la cruza en diagonal. El número en este caso también se pintará de un color gris más claro que el las señales R-301. Y como en el caso anterior, el valor de velocidad en km/h que indique la señal no afectará al número de referencia que tiene la señal.

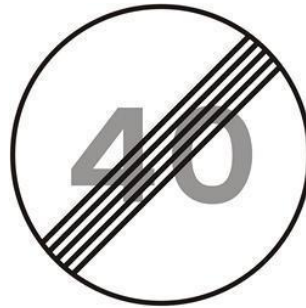


Figura 11. Señal R-501 a 40 km/h. Fuente: [Wikimedia commons](#)

La señal del tipo S-7 estará dentro del grupo de señales de indicaciones generales, de donde proviene la S. El 7 hace referencia a que la señal recomienda una velocidad de circulación. Como en el caso de la R-301, el valor S-7 no variará en función del valor de velocidad en km/h que indique. Hay que remarcar que la velocidad indicada en la señal es la recomendada para circular en cualquier caso, independientemente de si las condiciones meteorológicas son o no favorables.



Figura 12. Señal S-7 a 40 km/h. Fuente: [Wikimedia commons](#)

Las siguientes señales que se mostraran pueden ir acompañadas de las anteriores para indicar el porqué de la nueva limitación o recomendación de velocidad. La señal P-1 estará dentro del grupo de señales que indican peligro, triangulares con el borde rojo y el fondo blanco. El 1 hace referencia a que se acerca una intersección en la que tiene prioridad el vehículo que circule por la vía que muestra esta señal.



Figura 13. Señal P-1. Fuente: [Wikimedia commons](#)

Dentro de las P-1, tenemos la P-1a, P-1b, P-1c y P-1d. Con este tipo de señales se indicarán los diferentes tipos de intersección. Siendo la a y la b las que indican prioridad sobre intersección con vía a derecha o izquierda respectivamente, y la c y la d las que indican prioridad sobre incorporación a derecha o izquierda respectivamente también.

La señal P-13 es la encargada de indicar la proximidad de una curva peligrosa. Dentro de las P-13 se encontrarán la P-13a y la P-13b, donde la a indicará que la curva es hacia la derecha y la b hacia la izquierda.



Figura 14. Señal P-13b. Fuente: [Wikimedia commons](#)

La señal P-14 indicará la proximidad a un tramo de curvas peligrosas. Dentro de las P-14, se encuentran la P-14a y la P-14b. La letra indica lo mismo que en el caso anterior, solamente que aquí se referirá hacia que lado es la primera curva del tramo de curvas peligrosas.



Figura 15. Señal P-14b. Fuente: [Wikimedia commons](#)

La señal P-20 hará referencia al peligro por la presencia de peatones en la calzada. Estas señales se acostumbran a colocar en zonas donde la presencia de los peatones es muy frecuente y sirve para alertar de un posible peligro que los conductores se pueden encontrar en la carretera, de ahí la letra P. La P-21 servirá para indicar la presencia de niños en la calzada o sus alrededores.



Figura 16. Señal P-20. Fuente: [Wikimedia commons](#)

La señal P-22 alertará de la presencia de ciclistas en la calzada. Estas señales, triangulares con el borde rojo y el fondo blanco como las de peatones, se colocan en zonas donde la presencia de ciclistas es más que probable. Normalmente va acompañada de un cartel que indica la distancia mínima de 1,5 m que hay que dejar entre el vehículo y ellos. En la Figura 17 se observa el cartel que recuerda la distancia mínima que hay que mantener.



Figura 17. Cartel recordatorio separación entre vehículo y ciclistas. Fuente: @PIUC243c

La señal P-24 indicará la presencia de que el siguiente tramo es un paso muy frecuentado por animales en libertad. Esta señal es muy importante en aquellas carreteras donde se tiene constancia de la aparición de animales salvajes, ya que un choque contra según que animal salvaje puede suponer un peligro muy grande para los ocupantes del peligro. E igual que para los ocupantes es un peligro, para según qué animales pequeños puede ser un auténtico peligro cruzar la carretera.



Figura 18. Señal P-24. Fuente: Wikimedia commons

Pero una de las señales de tráfico más importantes, en cuanto a indicar la velocidad de circulación, y a la vez una de las más olvidadas debido a que muy poca gente recuerda su significado después del examen de circulación es el panel de balizamiento. Los puntos donde hay más cantidad de accidentes, sobre todo siniestros, son las carreteras secundarias y la gran mayoría de estos están provocados por el exceso de velocidad del vehículo al entrar en una curva. Por este mismo motivo se inventaron los paneles de balizamiento, para avisar con antelación al conductor del vehículo que se aproximaba a una curva y que este tuviera tiempo de sobra de frenar. Según la norma europea, estos paneles deben ser de un material blanco reflectante sobre un fondo azul y deben tener la siguiente forma:



Figura 19. Panel balizamiento simple. Fuente [16]

En el caso de que se quieran colocar varios para indicar una curva de giro más pronunciado, estos se colocaran uno encima del otro y separados una distancia de 15 centímetros entre ellos. Se colocará máximo tres, que corresponderán con la reducción más alta de velocidad para tomar la curva de manera segura. Como se puede observar en las Figuras 20 y 21.



Figura 20. Panel balizamiento doble. Fuente [16]



Figura 21. Panel balizamiento triple. Fuente [16]

Para decidir la velocidad de paso por curva segura para todos los vehículos se utiliza la siguiente fórmula, que tiene en cuenta el peralte, el radio y el coeficiente de fricción transversal de la curva:

$$V^2 = 127R(f_t + \frac{P}{100})$$

Los valores de coeficiente de fricción transversal que se consideran a la hora de realizar los cálculos variarán en función del tipo de asfalto y su estado y en función de la velocidad del vehículo. Para hacer el cálculo más sencillo, se creó la siguiente Tabla en la que el coeficiente de fricción varía en función de la velocidad del vehículo:

V [km/h]	40	50	60	70	80	90	100	110	120
f _t	0,180	0,166	0,151	0,137	0,122	0,113	0,104	0,096	0,087

Tabla 1. Adherencia en función de la velocidad

Teniendo en cuenta esta tabla, se puede calcular la velocidad en curva segura para un vehículo por una carretera convencional con un peralte del 5%:

·Curva de radio 90 metros:

$$V^2 = 127 \cdot 90 \cdot \left(0,113 + \frac{5}{100}\right)$$

$$V = \sqrt{127 \cdot 90 \cdot 0,163}$$

$$V = 43,164 \text{ km/h}$$

Se puede ver que para una curva de 90 metros de radio la señal de recomendación de velocidad debería marcar 50 km/h. Para el resto de curvas, las señalizaciones deberían ser de:

Radio [m]	≥75	75 - 120	120 - 175	175 - 235	235 - 310	310≤
Recomendación de velocidad [km/h]	40	50	60	70	80	90

Tabla 2. Recomendación de velocidad en función del radio de la curva

Estas velocidades se señalizarán con una señal del tipo S-7 situada antes de la curva y en un lugar que garantice una visibilidad suficiente para que el conductor pueda reducir la velocidad de manera segura.

Una vez se ha señalado la velocidad antes de la curva, se deben colocar los paneles de balizamiento. Como se ha comentado anteriormente, la señal S-7 se pondrá juntamente con el/los panel/es de balizamiento con suficiente antelación como para que el conductor reduzca la marcha. Se colocarán paneles de balizamiento en el inicio de la curva y tantos como en función del grado de deceleración necesario, la señal S-7 en cambio se colocará antes de llegar a esta. Por ejemplo, si el conductor se aproxima a una curva de 130 metros de radio de la carretera convencional comentada anteriormente, teniendo en cuenta que se aproxima por una recta por la que circula a la velocidad permitida de 90 km/h, deberá reducir la velocidad en 30 km/h. Por tanto, para señalar el nivel de deceleración necesario se colocarán 2 paneles de balizamiento. Como se puede ver en la Tabla 3, esta indica el número de paneles a colocar en función de la reducción de velocidad necesaria.

$V_a - V_c$ [km/h]	15 - 30	30 - 45	≥ 45
Paneles	Simple	Doble	Triple

Tabla 3. Número de paneles en función de la diferencia de velocidad

Donde V_a se entiende como velocidad de aproximación a la curva y V_c como velocidad segura en la curva. Hay que tener en cuenta que esta recomendación de velocidad es independiente de las condiciones meteorológicas o de visibilidad, ya que se entiende que aunque estas sean completamente favorables si circuláramos a mayor velocidad podríamos provocar incomodidad en los pasajeros del vehículo o no ser capaces de reaccionar a un peligro en mitad de la curva.

En el caso de que se estuviera en un tramo de curvas enlazadas y la velocidad de aproximación no coincidiera con la velocidad máxima de la carretera, el procedimiento de colocar los paneles de balizamiento sería más complicado. En este caso se deberían tener en cuenta diferentes factores para calcular la velocidad de aproximación del vehículo y colocar la respectiva señalización necesaria para informar de la velocidad segura para la siguiente curva.

Tanto la visibilidad como el escoger correctamente el tipo de señal necesaria para cada tramo es muy importante, estas se deben elegir y colocar en lugares seguros. El valor de velocidad de las señales R-301 irá relacionado con las características de la carretera y tendrá en cuenta que tipo de carretera es, la forma de su trazado y la visibilidad que haya. El lugar donde se coloca la señal también es muy importante, ya que por ejemplo con las R-301, el conductor debe tener tiempo suficiente desde que avista la señal hasta que llega a ella para adecuar su velocidad a la indicada en la señal sin necesidad de realizar una frenada fuerte. En ambos casos se tiene en cuenta la distancia que recorre un vehículo desde que el conductor avista una señal o un peligro hasta que empieza a aplicar una fuerza sobre el pedal de freno. En el caso de las frenadas de emergencia, esta distancia es aun más importante ya que marca la diferencia entre tener un accidente y no tenerlo.



Figura 22. Distancia de frenado. Fuente: @PIUC243c

Como se puede observar en la Figura 22, no solamente depende del conductor la distancia hasta que el vehículo se detiene, sino también del nivel de adherencia de la carretera. Por ejemplo, para una velocidad de 120 km/h, se recorren 97,9 metros hasta que el vehículo se detiene por completo. Una distancia que en caso de lluvia crece hasta los 115,9 metros, 18 metros más que con el pavimento seco. Las autopistas son vías muy rectas, con una gran visibilidad, pero incluso en estas vías, en caso de lluvia, se debe reducir la velocidad a 100 km/h con el objetivo de no superar los 100 metros recorridos en caso de frenada de emergencia.

Los paneles luminosos que hay sobre todo en grandes ciudades son de las señales de tráfico más modernas. Gracias a un control cada día más exacto del tráfico de las carreteras, estos carteles dan la posibilidad de mandar mensajes sobre el estado de la carretera a los conductores pero sobre todo de variar la velocidad de la vía para poder evitar atascos y que la carretera no se colapse. En algunas carreteras, se conecta la pantalla luminosa a un cinemómetro que está situado antes que esta con el objetivo de mandar un aviso a aquellos coches que superen la velocidad máxima permitida. En el mensaje que se les proyecta en la pantalla, se pone la matrícula del coche y se le avisa de que va por encima del límite, recordándole también cuál es ese límite de velocidad.

El futuro de las señales de tráfico pasa por que todo el sistema de control de tráfico esté conectado, de esta manera se adaptarán las velocidades de las vías a la condiciones en ese preciso momento teniendo en cuenta el estado del asfalto, los accidentes y el tráfico. Tal y como se puede leer en el artículo sobre el proyecto del vehículo conectado de la THEA de la revista *Traffic Technology International*. El artículo explica el proyecto que está llevando a cabo la THEA y que conecta una gran cantidad de coches tanto privados, como de la empresa TECO, buses e incluso peatones. Esto solo enseña un pequeño potencial de la comunicación entre vehículos.

Si estos vehículos se comunicaran también con las señalizaciones o al revés, las señalizaciones con los vehículos, se formaría una red de carreteras que prácticamente se autogestionaría para llegar al punto óptimo en cada momento. Por ejemplo, si circulando por una autopista se produce un frenazo brusco más adelante, los paneles cambiarían el mensaje que estuvieses proyectando y informarían del peligro, incluso, el coche al ver que se ha producido un frenazo y no recibir ningún input del conductor para frenar, podría frenar el solo evitando un gran accidente. Esto es solo un ejemplo de lo que se podría llegar a controlar con un sistema totalmente comunicado entre sí.

2.2. Vehículo

En este apartado se hablara de los sistemas de regulación de velocidad de los vehículos, aquellos que ayudan a los conductores a saber en todo momento la velocidad permitida, a controlarla o incluso a limitarla.

2.2.1. Regulador/Limitador de velocidad

Este fue el primer sistema incluido en un vehículo que tenía la capacidad de ayudar al conductor con la velocidad. Como se puede leer en el documento [13], el primer controlador de velocidad se inventó en 1945 por Ralph Teetor. Su invento nació a causa de su abogado, el cual era incapaz de mantener la velocidad cuando circulaba e iba dando acelerones y frenazos constantemente. El funcionamiento del sistema era muy sencillo, calculaba la velocidad gracias a la rotación del palier y una bobina era la que encargaba de regular la abertura de la mariposa del acelerador, aumentándola o disminuyéndola según era necesario. Así, el primer vehículo que equipo este invento fue el Chrysler Imperial en 1958. En este se mejoró el invento de Teetor y se substituyo la bobina por un servo motor que es mucho más preciso y ayudaba a mejorar el funcionamiento del regulador de velocidad, haciéndolo más preciso y rápido reaccionando.

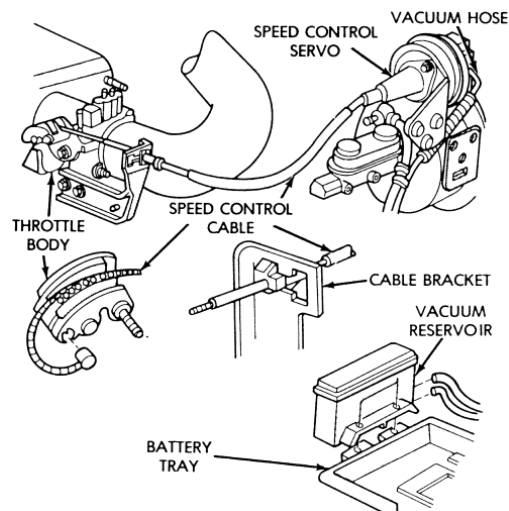


Figura 23. Regulador de velocidad Chrysler 1958. Fuente [12]

Estos sistemas fueron evolucionando para hacerlos más precisos y rápidos en sus reacciones para aumentar la seguridad y la comodidad. Con el objetivo de hacerlos más útiles y seguros en situaciones reales se le dio al sistema la capacidad de frenar al vehículo no solo cortando el acelerador, sino actuando sobre el sistema de frenos del coche. Esto era muy útil cuando el vehículo circulaba en bajada y, debido a la gravedad, por mucho que el sistema dejara de acelerar el coche seguía cogiendo velocidad, provocando que en muchas ocasiones se superara el límite de velocidad debido que el conductor no iba atento. Hay que remarcar que los primeros sistemas que se montaron tenían una capacidad de frenado muy baja para evitar posibles accidentes por alcance.

La primera gran revolución en este tipo de sistemas fue añadir un radar con la capacidad de controlar la distancia con el coche de delante. Así, ahora el sistema no solo se basaba en la velocidad del coche para regular la carga del acelerador, ahora también tenía en cuenta la distancia con el coche de delante. Esto provocó que estos sistemas se extendieran mucho más rápido debido a su alta utilidad en situaciones reales. De esta manera, el conductor solo debía mantener la dirección ya que el coche tenía la capacidad de circular a la velocidad máxima de la vía, frenar si aparecía un vehículo más lento en el carril y luego reanudar la velocidad una vez el vehículo delantero dejaba vía libre.

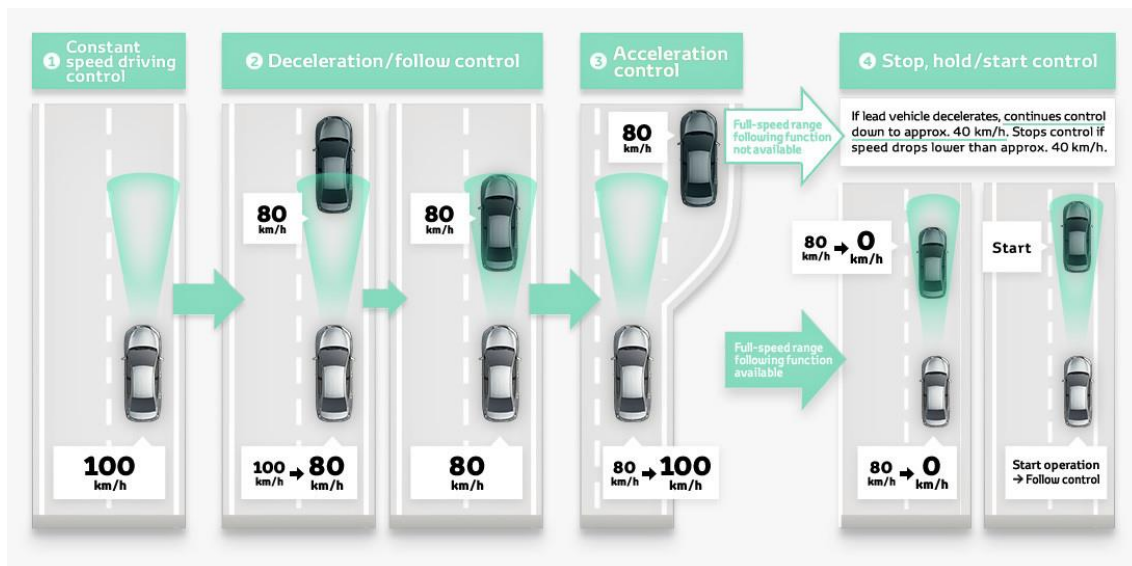


Figura 24. Control de velocidad adaptativo. Fuente [14]

Como se observa en la Figura 24, el sistema tiene la capacidad de reaccionar al entorno y así hacerlo más seguro. Pero debido a que está pensado para circular por carreteras interurbanas o autopistas y no por urbanas, el sistema solo funciona a partir de 40 km/h. Esta medida fue añadida por los fabricantes para evitar que este sistema se convirtiera en un peligro. Debido a que solo está formado por un radar de proximidad en la parte delantera del coche, el sistema solo puede reconocer grandes objetos colocados justo delante del vehículo y no peatones o ciclistas, por tanto, si no se añadiera la mediada anteriormente mencionada se podría dar el caso en que un usuario diera un mal uso al sistema y provocará una situación de peligro para el mismo y su entorno.

La última gran evolución en estos sistemas ha sido la de añadir una antena GPS y una cámara con capacidad de reconocer las señales de tráfico. De esta manera, se puede informar en todo momento al conductor de cuál es la velocidad permitida de la vía por la que está circulando. Los fabricantes de estos sistemas no han dado la habilidad al sistema para que el de manera automática variara la velocidad debido a que esto podría provocar situaciones de peligro, ya que por mucho que sepan por qué carretera circulamos no son capaces de conocer las condiciones de la carretera ni la forma de esta.

Este sistema es de una gran ayuda a la hora de controlar la velocidad a la que se circula y, debido a que informa de la velocidad límite en cada carretera, ayuda al conductor a circular de forma más segura. Pero, si bien este sistema evita la fatiga en viajes largos, también se puede convertir en un peligro al hacernos prestar menos atención a la carretera y a nuestro entorno debido a que el coche controla gran parte de las acciones. Hay que recordar que estos sistemas no son capaces de operar por si solos, es decir, no son autónomos y necesitan en todo momento de un conductor para tomar control del coche en situaciones de peligro.

2.2.2. HUD

Este dispositivo no tiene tanto recorrido como el sistema de regulación y limitación de velocidad, y en cierta manera tampoco esta tan relacionado con la velocidad como el dispositivo anterior. Pero ha permitido concentrar toda la información que necesita el conductor para circular de forma segura y mostrársela sin que este tenga que apartar la vista de la carretera. A partir de este momento nos referiremos al *head up display* como HUD.

El primer fabricante que comercializo un vehículo con la opción de equipar el HUD fue General Motors en el año 1988. Pero no fueron ellos los que lo inventaron, este invento empezó a ser utilizado por el ejército de Estados Unidos en sus aeronaves de combate. Permitía mostrar la información a los pilotos sin que estos tuvieran que apartar la mirada, también permitía saber con mucha mayor exactitud donde estaban apuntando las armas de la aeronave en todo momento. Los primeros HUD eran muy sencillos y únicamente proyectaban la velocidad en el parabrisas. Se proyectaba en un color verde para que no molestara al conductor por la noche, que era cuando más útil era el dispositivo ya que por el día era muy difícil de visualizar la imagen que proyectaba este. Después de que General Motors lo comercializará no se hicieron muchas revoluciones hasta entrados los años 2000, en los que la tecnología ya permitía proyectar imágenes de mayor calidad y por ende mayor cantidad de datos, pero siempre controlando que no se mostrara tanta información que pudiera convertirse en una distracción para el conductor y dejará de ser una ayuda. Es por este motivo que hoy en día los fabricantes siguen manteniendo una variedad bastante corta de colores en los HUD.

Como se puede leer en el documento [17], actualmente se equipan dos tipos de HUD, dependiendo del nivel del vehículo y de cuanto se quiera gastar el comprador. El primero y más asequible es el HMD (*Head Medium Display*), en este la información se proyecta sobre una pequeña lámina transparente que aparece de encima del salpicadero en el momento que encendemos el coche. No consigue una visibilidad tan buena como la del HUD pero su precio es considerablemente inferior.



Figura 25. HMU. Fuente: [pinterest.com](https://www.pinterest.com)

El segundo es el HUD, en este la información sí que se proyecta sobre el parabrisas y de esta manera conseguimos ver la información sin apartar la vista de la carretera, una información mucho más completa y que no solo nos informa de la navegación y de la velocidad como hace el HMU.



Figura 26. BMW Serie 3 HUD. Fuente: [thepinsta.com](https://www.thepinsta.com)

Otra opción mucho mas económica que las dos anteriores es la de utilizar nuestro smartphone para que proyecte la información sobre el parabrisas. Existen múltiples aplicaciones que utilizando la conexión a internet y el GPS del teléfono, nos podrán ofrecer datos de la velocidad, la navegación y los atascos. Esta opción no ofrece la misma calidad ni seguridad que las anteriores, debido a que el smartphone no va sujeto del todo en el coche y que para ver la información se deberá forzar más la vista, por ejemplo.



Figura 27. Smartphone haciendo la función del HUD. Fuente: [pinterest.com](https://www.pinterest.com)

2.3. Seguridad vial

En este apartado se tratarán todos aquellos sistemas que ayudan al conductor a ser más consciente de los efectos de la velocidad y de sus consecuencias cuando esta no es la adecuada o segura. En este apartado no se mencionarán aquellos sistemas integrados en los vehículos ni en el entorno, ya que de ellos ya se ha hablado en los apartados anteriores de este trabajo.

La velocidad es la mayor causa de los accidentes graves y mortales, siendo en el año 2017 la mayor causa de los accidentes. En un 26% de estos accidentes el conductor iba a una velocidad inadecuada para las condiciones de la carretera, según el balance de seguridad vial de la DGT [25]. Hay que remarcar que por velocidad inadecuada no se refiere únicamente a que superaba el límite máximo de velocidad de la vía, sino que teniendo en cuenta las condiciones meteorológicas, el tráfico, el estado de la carretera y el tipo de vehículo, la velocidad no era la adecuada para circular totalmente seguros.

En los últimos años, la DGT se ha mostrado a favor de utilizar la tecnología para ayudar a los conductores y enseñarles unos hábitos a la hora de conocer cuál es la velocidad adecuada de la carretera en cada momento. De esta manera, se reducirían en gran número los accidentes graves y mortales.

Tal y como se puede ver en el documento [2], uno de los proyectos que están desarrollando juntamente con la Universidad Politécnica de Madrid es el de utilizar los teléfonos inteligentes para avisar a los conductores de la velocidad segura de la vía en cada momento. Gracias a que los teléfonos inteligentes vienen equipados con numerosos sensores y conexiones, pueden ser muy útiles a la hora de indicar la posición GPS del vehículo con exactitud por ejemplo. El proyecto del que habla el artículo, y que está liderado por Felipe Jiménez, consiste en crear un sistema que utilice una base de datos del estado de las carreteras y del tráfico en tiempo real, la información del vehículo mediante el bus CAN de este y el teléfono inteligente para procesar los datos y decidir en cada momento cuál es la velocidad adecuada de la vía. Para procurar que el sistema no provoque una gran distracción, los desarrolladores del sistema han ideado un código de colores que indicará al conductor el nivel de desaceleración necesario para adecuar la velocidad a las condiciones de la carretera. Con esto se consigue que el conductor no aparte la mirada de la carretera ya que no hace falta que mire la pantalla directamente para percibir el color, pero si todo esto no fuera suficiente, también han pensado en un sistema que podría incluir avisos sonoros para asegurarse que el conductor recibe el mensaje y lo entiende. Para desarrollos futuros del proyecto, han estudiado el uso de un escáner láser en el exterior del

vehículo y un lector de ondas cerebrales en el conductor. Estos dispositivos ayudarían a tener un conocimiento en tiempo real de los alrededores del vehículo y del nivel de atención del conductor para poder ofrecer una mayor variedad de consejos y ayudas para evitar cualquier tipo de accidentes.

2.3.1. Cursos de conducción

Los cursos de conducción no solo sirven para aprender a ir rápido con el coche ni son únicamente para gente que le gusta mucho conducir. Esta es una idea generalizada entre la población pero que no tiene nada que ver con la realidad.

En estos cursos el principal objetivo siempre es el mismo, enseñar las reacciones del coche en diferentes situaciones que el conductor se puede encontrar en el día a día circulando por la carretera y que experimente como los sistemas de ayuda a la conducción se aseguran de que no se produzca el accidente.

Uno de los diferentes centros que realiza cursos de este tipo es el centro de formación Fast Parcmotor, situado en el circuito de Castellolí. En este centro se realiza un curso de conducción segura de turismos que consiste en un curso teórico y práctico de conducción segura y seguridad vial. Como se ha mencionado anteriormente, el objetivo de este curso es conocer las situaciones de riesgo más comunes al circular por la carretera y que se aprenda a reaccionar a estas. Otra de las cosas que se enseña en este curso es la posición de conducción idónea, un factor muy importante si se quiere reducir la gravedad de las lesiones en un accidente.

La posición de conducción está muy olvidada a la hora de conducir, debido a que a la hora de aprender a conducir no nos enseñaron la correcta manera o debido a que nuestros malos hábitos han acabado provocando que adoptemos otra posición. Como se puede ver en el documento [3], la cuestión es que una correcta posición de conducción ayudará a maximizar los efectos de los sistemas de seguridad pasiva y aumentará considerablemente las posibilidades de salir ileso en un accidente. En cambio, si conducimos en una posición incorrecta se puede provocar incluso que los sistemas de seguridad pasiva actúen en contra nuestra y de esta manera disminuyan drásticamente las posibilidades de salir ileso.



Figura 28. Postura correcta de conducción. Fuente: race.es

Una correcta posición sería como la de la imagen anterior y para conseguirla se deberán seguir diferentes pautas:

- Pelvis bien encajada en el ángulo del respaldo y el asiento. Se tiene que poder accionar el pedal del embrague de forma relajada y sin estirar del todo la pierna.
- Los brazos también tienen que quedar semiflexionados y relajados, de esta manera se evitará la fatiga en largos viajes.
- El cinturón debe apoyarse en la pelvis y en la clavícula. Hay que evitar que quede un espacio entre la clavícula y el cinturón, ya que en caso contrario el cinturón no tendría efecto en los accidentes laterales. Y lo más importante, antes de iniciar la conducción hay que estirar del cinturón para asegurarse de que este queda totalmente apretado.
- Las manos se colocarán en la posición que estarían las agujas de un reloj a las 10 y 10. De esta manera se deja vía libre entre el airbag y el cuerpo.
- El reposacabezas deberá situarse cerca de nuestra cabeza sin llegar a molestar y a la misma altura que esta. La altura de la parte más abultada del reposacabezas deberá coincidir con la de nuestro occipital para que proteja de los accidentes por alcance.
- El asiento se debe situar en la posición más baja posible, para evitar que nuestra cabeza choque contra el marco de la puerta en caso de accidente lateral. Una mala costumbre muy extendida es la de colocar el asiento alto para ver el morro del coche, algo innecesario ya que se tiene que mirar lejos no cerca a la hora de conducir para poder predecir mejor lo que puede ocurrir delante nuestro y así poder reaccionar antes.
- El pie izquierdo apoyado a la izquierda del embrague y solo encima de este cuando se vaya a realizar un cambio de marcha. El pie derecho estará apoyado por la parte del talón delante del pedal del freno y se utilizará este punto de pivote para accionar los pedales de acelerador y freno.

Es muy importante aclarar que una correcta posición al volante no solo aumenta las posibilidades de salir ileso en un accidente, sino que da la capacidad de reaccionar a los peligros en un menor tiempo y de manera más efectiva. Por ejemplo, en el caso de colocar el pie para que haga pivote delante del freno, se consigue que el paso del acelerador al freno sea más rápido. De esta manera, el intervalo de tiempo entre ver el peligro e iniciar la frenada se reduce, ganando unos metros cruciales que pueden significar que el accidente o atropello no se produzca.

A continuación, cuando ya se tiene la posición de conducción correcta, se pasa a la parte práctica. En esta parte te hacen conducir y te hacen enfrentarte a situaciones de baja adherencia o de peligro. Esto se acaba traduciendo en ser más consciente de las condiciones de la carretera, los peligros que pueden aparecer y de esta manera, saber adaptar la velocidad a cada situación para siempre circular a la velocidad segura, que no la permitida. Uno de los ejercicios que más impacta a las personas que realizan el curso es el de la frenada en mojado con esquiva de un obstáculo. Esta prueba se realiza en un pavimento mojado que asegura una baja adherencia y consiste en seguir una trayectoria marcada con conos, como se puede apreciar en la Figura 29.



Figura 29. Frenada con esquiva en mojado. Fuente [4]

En esta prueba el conductor se aproxima a una velocidad de entre 40 y 50 km/h, una velocidad baja en comparación con las que se circula por la carretera, y en el momento que llega al pavimento mojado, frena al máximo e intenta esquivar el obstáculo. Los errores más frecuentes en este tipo de situaciones son:

- No apretar el embrague cuando se realiza una frenada de emergencia, por tanto, los frenos hacen el doble de esfuerzo ya que deben frenar el vehículo y el motor.
- Mirar el obstáculo a esquivar en lugar de mirar hacia donde se quiere ir.

Ambas situaciones acaban con el mismo resultado, que el conductor no consigue esquivar el obstáculo y tiene un accidente. Para conseguir esquivar el obstáculo entonces es muy importante conseguir frenar el vehículo lo máximo posible antes de llegar a él y siempre mirar hacia donde se quiere ir, no hacía lo que se quiere esquivar.

En esta prueba también se muestra la ayuda que proporciona el sistema anti bloqueo de frenos, del alemán *Antiblockiersystem* (ABS). Primero te enseñan a reaccionar sin el ABS a la esquiwa del obstáculo, en una situación en la que la capacidad de frenado es prácticamente nula y en la que la anticipación juega un papel muy importante. Después de conseguir realizar la prueba sin ABS, te hacen repetir con el ABS conectado. De esta manera se puede apreciar la gran ayuda a la seguridad que han proporcionado estos sistemas y lo más importante, te enseñan a confiar en el coche para que en situaciones de este tipo solo pienses en esquivar el obstáculo y no en si vas a perder el control del coche.

Pero, como se ha mencionado al principio, este curso se realiza en un entorno controlado y con el objetivo de que el conductor aprenda, llevándolo al límite para conseguirlo. En el momento que sale a la carretera y se circula entre otros vehículos, donde las condiciones son mucho más impredecibles, lo mejor es prever las situaciones que se puedan dar y reaccionar incluso antes de que estas sucedan. Haciendo esto y circulando a una velocidad segura, la probabilidad de que se sufra un accidente será mínima. Y en el caso que el conductor tuviese un accidente, de seguro que podría salir por su propio pie.

2.3.2. Carné de conducir

Las autoescuelas son las encargadas de enseñar a los conductores todo aquello necesario para poder conducir y no ser un peligro para los demás usuarios de la vía. El sistema hasta ahora consistía en realizar un examen teórico y uno práctico. Uno de los problemas este sistema es que lleva mucho tiempo impartándose y las preguntas están desfasadas, en ellas no se hace prácticamente referencia a los nuevos sistemas de seguridad activa y pasiva de los vehículos. Otro de los problemas es que como el examen teórico es tipo test y no tiene preguntas de razonar, la mayoría de gente que lo realiza acaba optando por memorizarse la respuesta de aquellas preguntas que no entiende y aunque en el examen queda constancia de que esa persona ha adquirido los conocimientos necesarios para realizar el examen práctico, la realidad es que esa persona en el momento que se enfrente a la situación de conducir no es capaz de razonar de manera correcta porque no se acuerda de la teoría. El ejemplo más claro es el de la velocidad de circulación, la capacidad de saber en todo momento a qué velocidad se debe circular sin la necesidad de una señal que lo indique es muy importante. Todo esto, si se ha memorizado para realizar el examen en lugar de aprender a razonar el porqué, es imposible de realizar. Lo mismo ocurre con el examen práctico, en este solamente se tiene en cuenta la conducción diurna y de bajo nivel de tráfico la mayoría de veces. Esto provoca lo mismo que con el examen teórico, que una persona que parece apta para conducir en condiciones de baja visibilidad, de mucho tráfico o de conducción nocturna podría no saber reaccionar de manera correcta y convertirse en un peligro para los demás usuarios.

La DGT, consciente de estos problemas comentados con anterioridad, ha tomado medidas y ha enviado su propuesta para una nueva ley de tráfico y seguridad vial al ministerio del interior. El objetivo de la DGT es que esta ley se apruebe antes de que finalice 2018. Actualmente, y como se puede confirmar en el Boletín Oficial del Estado (BOE) [5], el apartado 7 del Código de Tráfico y Seguridad Vial que se refiere al Reglamento General de Conductores no está actualizado aún debido a que se está revisando.

Esta nueva propuesta de la DGT traerá 5 grandes modificaciones:

- Es obligatoria la asistencia a las clases en una autoescuela.
- Poner fin a los exámenes tipo test incluyendo nuevo material, como podrían ser videos. De esta manera, el examinado debería razonar el porqué de su respuesta y así se podría saber con mas exactitud si está preparado o no.
- Se incorporarán nuevas materias, como la conducción nocturna.
- La conducción con sistema de navegación GPS pasara a formar parte del examen práctico. El recorrido a partir de ahora lo marcará este en lugar del examinador.
- Se les dará la posibilidad a los alumnos de participar en cursos previos de concienciación sobre los riesgos al volante.

Estas modificaciones son muy prometedoras ya que ayudaran a que las personas que consigan el permiso de circulación conduzcan mucho más preparadas a las situaciones reales de conducción. Con esto se conseguirá que la capacidad de razonamiento de estos sea mucho mejor. También, debido al mayor esfuerzo para concienciar a la gente, se conseguirá que la conducción se tome con mucho más respeto y no como algo fácil a lo que no haya que prestar mucha atención.

En conclusión, con esta nueva normativa se conseguirá reducir el número de accidentes preparando mejor a los examinados y concienciándolos mucho mejor que hasta ahora. Así, en situaciones de alto riesgo, los conductores serán conscientes del peligro que supone circular altas velocidades y la reducirán, adaptándola en todo momento a la velocidad segura. De esta manera se conseguirá reducir en gran número los accidentes causados por la velocidad y la distracción de las nuevas tecnologías, siendo este tipo de motivos los mayores causantes de accidentes en 2017 según la DGT.

3. Estudio de los accidentes

Ya que se están estudiando los efectos de la velocidad, en este punto se detallará que procedimiento siguen los cuerpos de seguridad o la DGT en el momento de estudiar un accidente o un siniestro. A partir de los conocimientos extraídos del libro [1], y una vez se realice el estudio de la carretera, se podrá entender de mejor manera los rastros que dejan los accidentes y tener una mejor idea de la velocidad a la que circulaban los vehículos en el momento del accidente o siniestro.

Estudiar un accidente que ya ha ocurrido es algo muy complicado, sobre todo si se trata de un siniestro en el que no hay testigos. Pero para calcular la velocidad a la que circulaba el vehículo en el momento del choque o de la salida de la calzada, se deben ir creando diferentes intervalos de velocidad a partir de la información que se va encontrando en el lugar del accidente. Hay varias fuentes de donde se puede extraer información que ayude a acortar el intervalo de velocidades, normalmente las más útiles son:

- Las declaraciones de los pasajeros del vehículo o de los testimonios externos.
- Las lesiones de los pasajeros del vehículo.
- Los desperfectos del vehículo.
- El comportamiento dinámico del vehículo.
- Las marcas de deslizamiento.
- Los movimientos del vehículo después del contacto o accidente.

A partir de estas fuentes de información se puede ir encontrando diferentes puntos que coincidan entre ellas y de esta manera ir minimizando el intervalo de velocidades para tener más clara a la velocidad que circulaba el vehículo antes del suceso, como se ha mencionado anteriormente.

3.1. Las declaraciones de los testimonios

Las declaraciones que se pueden extraer tanto de los testimonios como de los que han sufrido el accidente en primera persona nunca serán muy exactas, debido a que calcular la velocidad de un objeto en movimiento nunca es fácil. Solo en casos muy concretos se podrá conseguir un intervalo estrecho de velocidad, como por ejemplo en el caso de que algún pasajero se fijara antes de tener el accidente o que un testimonio externo circulara a velocidad similar que el vehículo que sufrió el accidente.

Pero se debe tener claro que las personas pueden exagerar o atenuar la velocidad del vehículo en el momento del accidente a partir de sus intereses o de factores externos. Por ejemplo, si tu antes de ver el accidente escuchas el sonido de las ruedas patinando seguido de un fuerte estruendo, tenderas a exagerar la velocidad del vehículo en el momento del accidente. O en caso contrario, si el que ha tenido el accidente es conocido tuyo y no quieres que tenga una gran multa tenderas a atenuar la velocidad a la que circulaba. En muchos otros casos, aquellos que han sufrido el accidente serán incapaces de explicar lo ocurrido antes del accidente debido al fuerte impacto psicológico que habrán sufrido.

Por tanto, las declaraciones de los testimonios serán muy útiles a la hora de corroborar diferentes versiones extraídas de otras fuentes de información, sobre todo si estas declaraciones son de testimonios externos. Pero siempre teniendo en cuenta que el intervalo de estas velocidades deberá ser muy grande para que no afecte a las demás informaciones.

3.2. Las lesiones de los pasajeros

Con el objetivo de que esta información sea útil a la hora de entender el accidente y no acabe provocando error en la estimación final, el estudio de las lesiones deberá ser llevado a cabo por un médico especializado en biomecánica y accidentes de tráfico debido a los numerosos factores que intervienen.

A partir de estos conocimientos se puede llegar a estimar las fuerzas sufridas durante el accidente. De esta manera, estimar un intervalo de velocidades que encaje con los daños provocados por el accidente a los peatones o a los ocupantes del vehículo. Pero hay que tener claro que cada persona es diferente, y por tanto, pueden reaccionar a impactos de manera diferente. A consecuencia de esto, los datos que se extraigan no serán ni mucho menos igual de exactos que en el caso de estudiar los desperfectos del vehículo, en los que se conocen las propiedades de los materiales que forman el vehículo a la perfección.

3.3. Los desperfectos del vehículo

Los desperfectos de los vehículos suelen dar bastante información al respecto de la velocidad con la que circulaba el vehículo en el momento del accidente. Esto es debido a que toda la energía que hace que el vehículo se deforme o gran parte de esta proviene de la energía cinética del vehículo. La energía cinética del vehículo depende de la masa y de la velocidad de este, siendo la velocidad más significativa debido a que esta elevada al cuadrado.

Sabiendo que la energía proviene de la energía cinética que tenía el vehículo, ahora se debe estudiar al vehículo en cuestión. Este estudio debe ser muy exhaustivo debido a la gran cantidad de materiales que hay presentes en la construcción del vehículo y también debido a que los vehículos de hoy en día están diseñados con el objetivo de deformarse en casos de impactos de mucha energía. Esto se hace para proteger a los ocupantes, ya que de esta manera la energía del impacto que acaban experimentando es considerablemente inferior a la que de verdad se ha visto involucrada.

Otro gran detalle que se debe tener en cuenta, es que en el único caso que toda la energía cinética del vehículo es la involucrada en el accidente es cuando el impacto es contra un objeto que no se deforma, es decir, cuando hay un choque inelástico. En el caso de que el vehículo impacte contra otro o en el que impacte y luego siga en movimiento hasta detenerse, el impacto se considera elástico. Si el vehículo desliza por la carretera después del impacto hasta detenerse, la energía involucrada en este proceso se podrá calcular como si de una frenada se tratara. Esto es debido a que el vehículo se acaba deteniendo debido al fregamiento con el suelo que transforma su energía cinética en energía calorífica. Teniendo en cuenta esto, se deberán tener en cuenta estos hechos y hacer el cálculo de las respectivas energías involucradas para calcular la energía cinética total.

Debido a la complicada tarea que supondría estudiar cada accidente al detalle, en los casos que lo permiten, se utilizan otros procedimientos para hacerse una idea de la velocidad que llevaba el vehículo. En el caso que el choque sea entre dos vehículos, solo se puede calcular la energía cinética total del choque y no la de cada vehículo. En la práctica, se acabará calculando la velocidad de uno de los vehículos como si este chocara contra una pared completamente rígida, utilizando ecuaciones como la de conservación de la cantidad de movimiento para calcular un intervalo de velocidades válida para el otro vehículo. Únicamente en el caso que por otra fuente de información conociéramos la velocidad de uno de los vehículos, se podría llegar a calcular la velocidad de los dos con un error aceptable. También se suelen utilizar con bastante frecuencia las pruebas de choque que sufren todos los vehículos con el objetivo de ser homologados. Comparando como resultado el vehículo en las pruebas con la realidad, se puede conseguir una aproximación de la velocidad y empezar a calcular el intervalo de velocidades a partir de ahí. Hay que tener en cuenta que las pruebas se realizan en condiciones controladas en laboratorio, es decir, que nunca se encontrará un caso igual en la realidad y por tanto esto solo debe servir de guía para poder calcular la energía cinética del impacto real.

Otro factor muy importante es la dirección del impacto sobre la carrocería y la rigidez de los diferentes componentes de esta. Un choque frontal comparado con uno lateral es muy distinto, los vehículos están diseñados para soportar fuertes impactos frontales, que es la dirección natural de este. Hay muchos elementos con el objetivo de absorber energía, incluso la parte frontal del chasis está diseñada para deformarse progresivamente y el motor para que se hunda debajo de este y no afecte al habitáculo. Por otra parte, el lateral de la carrocería es un punto débil del chasis, un impacto entre las dos ruedas provocaría una gran deformación aunque este fuera a baja velocidad. Incluso si este impacto se da a baja velocidad. En cuanto a los diferentes componentes de la carrocería como las ventanillas, los faros o los plásticos que forman la parte exterior de la carrocería, tienen una resistencia mucho menor y se deforman o rompen con facilidad. Para saber si un impacto ha sido muy fuerte de verdad, se deberán observar las llantas, los neumáticos o la parte del chasis que no está pensada para deformarse. Si estos se han visto afectados en gran cantidad, se podrá asegurar que el impacto ha involucrado mucha energía.

En conclusión, para poder calcular el intervalo de velocidades con un error aceptable se deberá tener en cuenta todos los factores anteriormente descritos y contrastar la información con la de las otras fuentes.

3.4. El comportamiento dinámico del vehículo

Si el vehículo describía una trayectoria curvilínea antes del impacto, se utilizará la fórmula para calcular la velocidad crítica en curva y así hacerse una idea de la velocidad real que llevaba el vehículo.

Cuando un vehículo sigue una trayectoria curvilínea se ve afectado por la fuerza centrífuga que lucha contra ese movimiento, empujando el vehículo hacia el exterior de la curva. Los neumáticos son los encargados de soportar estas fuerzas y mantener la trayectoria que el conductor quiere. Pero si se entra a una velocidad muy alta en una curva, los neumáticos no son capaces de soportar la fuerza centrífuga y patinan, saliéndose el vehículo de la trayectoria marcada por el conductor. Con la siguiente fórmula se podrá calcular la velocidad crítica a la que se empezaría a experimentar este fenómeno y nos ayuda a encontrar el punto inferior del intervalo en el caso que vehículo patinara.

$$V_{m\acute{a}x} = \sqrt{R \cdot g \cdot (p + f)}$$

Refiriéndose las letras a:

- $V_{m\acute{a}x}$ =Velocidad máxima en curva [m/s]
- R =Radio de la curva [m]
- g = aceleración de la gravedad [m/s²]
- p =peralte de la curva en tanto por uno
- f =coeficiente de adherencia transversal

En el radio de la curva se pondrá el radio de la trayectoria que ha seguido el vehículo, no el de la curva. Únicamente se tomaría el valor del radio de la curva en el caso que no se conociera la trayectoria real del vehículo debido a la falta de marcas en el suelo u otras pistas. Pero hacerlo de esta manera podría infundir bastante error en nuestro cálculo del intervalo de velocidades, lo que provocaría que no se tuviera esta información en cuenta.

3.5. Las marcas de deslizamiento

Las marcas de deslizamiento son una gran fuente de información para conocer la velocidad, pero el cálculo de estas se aproxima más a la realidad cuanto más rato han permanecido las ruedas bloqueadas en el vehículo. Desgraciadamente para el estudio de la velocidad a partir de este método, cada día son más los vehículos que llevan un sistema ABS equipado, estando el porcentaje prácticamente en el 100% debido a que su instalación se hizo obligatoria en todos los vehículos a partir de 2003. Por tanto, es más inusual encontrar marcas de deslizamiento actualmente, pero eso no quiere decir que no se den una gran cantidad de casos en los que aparecen. Por ejemplo, cuando el vehículo desliza lateralmente o cuando un camión realiza una frenada de emergencia y el remolque no lleva equipado los frenos anti-bloqueo.

Cuando se calcula la velocidad del vehículo antes del frenazo se deberá tener en cuenta el escenario anteriormente mostrado, que el vehículo lleve equipado ABS y también los siguientes:

- Por el choque contra otro objeto.
- Por el fregamiento de otra parte del vehículo diferente a los neumáticos.
- A causa de que el coche ha volcado.
- Porque las ruedas han revotado durante la frenada o se ha realizado la frenada en suelo resbaladizo.

Por tanto, si hay presencia de marcas de deslizamiento se tenderá a calcular la velocidad que llevaba el vehículo en el momento de realizar la frenada. En este caso hay también muchos factores que pueden afectar al cálculo de estas, como por ejemplo el coeficiente de rozamiento con el suelo, la pendiente de la carretera y el número de ruedas que se bloqueen. También tendrá una gran importancia en el cálculo el hecho que las marcas sean rectas o curvas y que el vehículo rote sobre su mismo eje, por ejemplo cuando las ruedas traseras van a más velocidad que las delanteras y provocan el giro del vehículo sobre sí mismo.

En el libro de investigación de accidentes de tráfico del autor Stannard Baker se pueden encontrar unas fórmulas y unos gráficos que tienen en cuenta los factores anteriormente descritos para calcular la velocidad inicial del vehículo. Estas fórmulas utilizan la pendiente, el coeficiente de fricción y la distancia de las marcas para dar un valor de la velocidad muy aproximado si el vehículo ha dejado marcas rectas y se han bloqueado las cuatro ruedas. Las fórmulas se basan en el principio de conservación de la energía y para el estudio de los accidentes una de las que se utiliza es:

$$v = 15,9 \cdot \sqrt{d \cdot (F \pm f)}$$

Donde:

- d =distancia de las marcas de deslizamiento en metros.
- F =coeficiente de rozamiento
- f =es la pendiente en tanto por uno.
- v =velocidad del vehículo antes del frenazo en km/h.

Pero esta fórmula presenta dos dificultades. La primera de ellas es determinar el coeficiente de rozamiento en el momento del frenazo. Para conseguir un resultado final mucho más fiable se deberá calcular en el sitio del accidente en las mismas condiciones meteorológicas y de velocidad del vehículo que realizó el frenazo. Representar estas condiciones en el momento del accidente es muy complicado y peligroso, y lo que se suele hacer es una prueba en las mismas condiciones meteorológicas o similares y a una velocidad inferior. A partir de este cálculo, se realiza una aproximación del coeficiente de fricción en el momento del accidente y se calcula la velocidad que llevaba el vehículo implicado.

El segundo problema se encuentra en las marcas de deslizamiento, que como se ha mencionado anteriormente, pueden no mostrarse por completo. Por tanto, de estas marcas se extraerán dos resultados, la parte segura y la probable. Estos dos resultados darán un intervalo de velocidades del vehículo antes de realizar el frenazo.

3.6. Los movimientos del vehículo después del accidente

En función de la dirección del impacto y del intervalo de velocidades se pueden encontrar diferentes posibles trayectorias del vehículo hasta que se llega a detener. Con esto se consigue entender con más exactitud qué es lo que pudo pasar y lo que provoca el accidente. Por ejemplo, y como se puede ver en las pruebas de choque en laboratorio, si el centro del impacto se encuentra desplazado del centro de la parte frontal del vehículo, este se deformará pero saldrá despedido hacia un lateral debido a la inercia que este llevaba y al momento que aplica el impacto elástico sobre el centro del vehículo. Esto resulta muy útil en los casos que el accidente es múltiple, ya que permite marcar un orden de lo que ha ido ocurriendo en el accidente y sobre todo, permite saber quién ha sido el detonante del accidente. Esto es muy importante, tanto para saber si el detonante conducía sin respetar las normas o las condiciones de seguridad como para las aseguradoras.

3.7. Conclusiones

Una vez se han estudiado todas las fuentes anteriormente mencionadas, llega el momento de combinar los datos y buscar posibles escenarios. Teniendo en cuenta el error cometido en cada una de las partes, una información tendrá más peso que otras a la hora de imaginar el escenario. Esta es la parte más difícil ya que hay que conseguir que todas las partes tengan sentido juntas, y si no todas, una gran parte. El procedimiento a seguir para llegar a la reconstrucción del accidente será formular las hipótesis a partir de las fuentes de información anteriormente mencionadas, comprobar que la reconstrucción encaja con lo que se conoce y reformular las hipótesis que no encajen con lo que se conoce. Este procedimiento será iterativo y finalizará en el momento en que se llegue a una versión encaje con lo que se conoce.

4. Estudio de una vía interurbana

Después de tratar los temas de entorno, vehículo y seguridad vial, se estudiará un caso real para ver qué cosas están mal y proponer diferentes mejoras para hacer de la vía interurbana en cuestión una vía mucho más segura y eficiente para circular.



Figura 30. Vista aérea de la C-243c. Fuente: Google earth

El estudio de la vía interurbana se realizará en la carretera C-243c, una carretera comarcal que une los municipios de Terrassa y Martorell y que también pasa por Castellbisbal, Ullastrell y Rubí. Concretamente se estudiará desde el km.12,9 hasta el km.0, que corresponde a la parte interurbana, titularidad de la de la Generalitat de Catalunya.

La C-243c es una carretera interurbana con un arcén inferior a 1,5 m, por tanto, la velocidad máxima de circulación será de 90 km/h para los turismos y las motocicletas, como se puede leer en el libro [28]. Para los autobuses, los derivados de turismos y los vehículos mixtos la velocidad máxima será de 80 km/h. Y por último, la velocidad máxima para camiones y furgonetas será de 70 km/h. Velocidad que en pocos puntos se podrá alcanzar, debido al gran número de curvas que encontramos en la carretera y que requieren de una señalización de velocidad máxima diferente a la de la vía.

Se ha elegido esta carretera debido al gran número de accidentes que hay a lo largo del año, como se puede observar en el estudio de accidentalidad en esta carretera por parte de EuroRAP, en el período entre 2013 y 2015 hubo un total de 34 accidentes registrados por la policía, es decir, que tenían atestado. El dato importante es que de todos los accidentes hubo un total de 51 víctimas, un valor muy alto. Estos accidentes provocan malestar en aquellos que la deben utilizar cada día para ir a su casa o por trabajo. Este malestar ha acabado provocando la creación de numerosas plataformas, como el Punto de Información Usuarios C-243c (PIUC243c) o Dignifica la C-243c, con el objetivo de concienciar a los usuarios de esta vía y para conseguir que

la Generalitat de Catalunya haga las reformas planteadas y haga de la C-243c una carretera más segura. Como se puede observar en el perfil de PIUC243c [29], se comparten una gran cantidad de mensajes que alertan de los accidentes que ha habido con el objetivo de alertar de los posibles atascos que se formen y para concienciar a los usuarios de esta también. Un ejemplo de esto es la información compartida el 3 de mayo, en la que se hacía mención de un grave accidente sufrido por un motorista a causa de un camión que había quedado cruzado en la calzada. Los accidentes son causados en gran parte por los conductores que no hacen caso de las señalizaciones y acaban perdiendo el control del vehículo o simplemente chocan con otro vehículo de frente por hacer un adelantamiento en una zona prohibida. Sobre todo los días de mucha frío o lluvia, en los que la adherencia del pavimento es inferior, es cuando mayor es el número de accidentes. Teniendo en cuenta el gran número de accidentes, se puede llegar a pensar que no son solo los conductores que conducen superando los límites de velocidad los que tienen accidentes, sino que puede haber otro factor como las señalizaciones las que causan este gran número.

El estudio de campo realizado está formado por dos partes. En la primera se recorrió la carretera anotando los diferentes puntos donde se creía que faltaba la presencia de señalización o que la que había era confusa. En la segunda se estacionó en diferentes lugares de la carretera para tomar medidas de la velocidad de los vehículos con una pistola radar de velocidad.

4.1. Análisis de la carretera

Se inició nuestro recorrido desde Terrassa, en el km. 12,9 de la C-243c. El primer tramo de la parte interurbana de la C-243c es un largo tramo de curvas cerradas y de baja velocidad.



Figura 31. C-243c km.12 en sentido Martorell. Fuente: Google earth

El primer fallo que se encuentra es en el km. 12, como se puede observar en la Figura 31, donde se encuentra un cruce para poder acceder a una pequeña urbanización. En este punto hay una señal de recomendación a 40 km/h y justo debajo una de curvas enlazadas peligrosas. El fallo está en que debería ser una señal que obligara a ir a 40 km/h por la presencia del cruce, ya que en el caso de que apareciera un vehículo para incorporarse a la carretera o cruzará por delante debido a que se quiere incorporar al otro carril, no habría tiempo de reacción si se circulará a más de 40 km/h. Como se puede observar en la Figura 32, el cruce se encuentra justo en mitad de la curva haciéndolo aún más peligroso.



Figura 32. C-243c km.12 en sentido Terrassa. Fuente: Google earth

El siguiente fallo se encuentra en el km. 11,5, donde se observa un claro ejemplo de señalización que provoca confusión más que información. Primero se encuentra una señal de limitación a 50 km/h con otro que nos avisa de una incorporación a la izquierda pero seguidamente con una de recomendado a 40 km/h con el aviso de curvas enlazadas peligrosas. En este caso también hay un cruce en medio de la curva, razón de más para poner exclusivamente una señal de velocidad que limite a 40 km/h. Con esto se conseguiría dar un mensaje mucho más claro a los conductores, remarcando que a causa de las curvas enlazadas y el cruce, la velocidad se debe reducir y circular con más cuidado. En la Figura 33 se pueden observar las señalizaciones que se han mencionado.



Figura 33. C-243c km.11,5 en sentido Martorell. Fuente: Google earth

El siguiente detalle que se encuentra, ya que no se puede considerar un fallo como en los anteriores casos, se ubica en el km. 11. Como se observa en la Figura 34, hay una señal que limita la velocidad a 50 km/h debido a que se entra en una zona urbana, pero no está acompañada del correspondiente cartel con el nombre de la urbanización. No se considera un fallo debido a que lo importante es que se indica la limitación de velocidad, pero ya que se reduce el límite de velocidad considerablemente se debería indicar el porqué de esta limitación para alertar del posible peligro.



Figura 34. C-243c km. 11 en sentido Martorell. Fuente: Google earth

El siguiente punto es en el km. 9,5, un punto que concentra muchos accidentes por alcance, debido a que se trata de un cruce que concentra mucho tráfico. Igual que en los dos primeros casos, debería haber una señal de limitación a 40 km/h a causa del gran número de accidentes que hay en este punto y así remarcar que se trata de una zona de peligro que requiere mayor atención por parte del conductor.



Figura 35. Señalización cruce km.9,5 en sentido Martorell. Fuente: Google earth



Figura 36. Cruce km.9,5 en sentido Martorell. Fuente: Google earth

Pero se puede observar en las Figuras 35 y 36, la señal que hay indica que el límite de velocidad es de 50 km/h. Otro gran peligro de esta carretera es el gran número de camiones de alto tonelaje que circula por ella, vehículos que suponen un peligro mucho mayor debido a su gran masa, lo que provoca que tengan una inercia mucho mayor y que en caso de imprevisto tengan una capacidad de frenado muy inferior a un turismo. En nuestro trayecto por la carretera, cuando circulábamos por este cruce a la velocidad máxima permitida de 50 km/h, la Figura 36 es la imagen que se veía en el interior de nuestro vehículo.



Figura 37. Tráiler sin respetar la distancia de seguridad.

Un camión de alto tonelaje que circulaba a una distancia mucho menor que la de seguridad y que nos intentaba forzar a ir mas deprisa. Este hecho muestra el gran peligro que suponen estos camiones, y más los conductores que los llevan, que no tiene en cuenta los posibles peligros que pueden surgir en estas carreteras. Teniendo en cuenta que nosotros ya circulábamos a 50 km/h, cuando creemos que la velocidad adecuada sería de 40 km/h debido a la gran cantidad de vehículos que circulan cada día por este cruce, esta zona supone un punto prioritario a la hora presentar mejoras que hagan descender el número de los ya mencionados accidentes por alcance.

En el km. 8,75, en el punto que la carretera pasa por la urbanización de Ca n' Amat (Ullastrell), no se encuentra ninguna señalización de velocidad que limite la velocidad a 50 km/h. Este es otro punto de gran peligro debido a que la carretera se sitúa en medio del parking y la urbanización y con mucha frecuencia, los peatones cruzan. Con motivo de la gran presencia de peatones que hay, se echan en falta una señal P-20 y P-22 que alertara del peligro por la presencia de peatones y de ciclistas, tanto en el cruce de acceso a la urbanización como en el punto donde la carretera cruza con el sendero.

Lo cierto es que desde el km. 9, donde una vez pasado el cruce hay una señal que indica que finaliza la limitación a 50 km/h hasta el km. 8 no se encuentra ninguna señal de velocidad. En este tramo de 1 km, que puede parecer poco, se pasa por una urbanización y por un punto donde la carretera corta un sendero que tiene una gran presencia de montañistas. Como se puede observar en la Figura 38, a parte del sendero también hay una salida de vehículos.



Figura 38. Paso del sendero a través de la carretera en km.8,25. Fuente: Google earth

Y en este tramo, la única señalización que hay es la que nos avisa del peligro de un cruce y se encuentra de subida, dirección Terrassa. Debido al gran número de senderistas que caminan por esta ruta tanto para hacer ejercicio como para llegar a la urbanización de Ca n' Amat, debería haber una señalización que alertara de este peligro.

En el km. 7,75 hay otro cruce que conecta con otra carretera también muy transitada, la B-151. En este caso, y como se observa en las Figuras 39 y 40, hay una señalización de limitación a 70 km/h. En este caso no se puede considerar un fallo debido a que es un tramo recto y que tiene una alta visibilidad, por tanto, a 70 km/h se debería tener tiempo de sobra para reaccionar ante cualquier peligro. Pero debido a que se trata de un cruce tan transitado, y que en las horas punta provoca grandes retenciones, una modificación haría falta para ganar seguridad y de paso, agilizar el tráfico.



Figura 39. Señalización cruce km.7,75 en sentido Martorell. Fuente: Google earth



Figura 40. Cruce km.7,75. Fuente: Google earth

En el km. 7 existe otro punto que concentra una gran cantidad de accidentes. En este punto, los accidentes son debidos a siniestros que ocurren cuando las condiciones del pavimento hacen que sea imposible trazar la curva a la velocidad límite de la carretera, de 90 km/h. Antes de esta curva hay una señalización de velocidad recomendada a 50 km/h, acompañada de otra alerta que vienen curvas enlazadas peligrosas.



Figura 41. Señalización previa a curva peligrosa en sentido Martorell



Figura 42. Barrera de seguridad reformada

Como se observa en las Figuras 41 y 42, por los diferentes colores del guarda raíl, se puede llegar a la conclusión que ha habido bastantes accidentes en esta zona. El más grave de estos fue provocado por un tráiler que quedo cruzado en mitad de la calzada y causo que un motorista chocara contra el guarda raíl y saliera despedido hacia el acantilado. Afortunadamente, el

motorista sobrevivió al accidente. Estos accidentes pueden ser debido a diferentes causas, pero las de mayor peso parecen ser la señalización y el estado del asfalto. Un asfalto con tantas grietas normalmente proporciona diferentes coeficientes de adherencia dependiendo de donde contacte el neumático. Si a esta ecuación añadimos una motocicleta que tiene únicamente dos ruedas y que su superficie de contacto con el suelo es menor que la de otro vehículo, podemos estar seguros de que habrá una gran cantidad de accidentes.

Si a lo que se ha mencionado en el párrafo anterior, también se añade la variable de la suciedad en la carretera, la adherencia descende aún en mayor medida. Debido a la gran cantidad de caminos rurales que conectan con la carretera, y a causa de la lluvia, se forman riachuelos que empujan el barro a la mitad de la calzada. Esto se encuentra en varios puntos de la carretera, como el que corresponde a la Figura 43 en el km. 4,5 o también en el km. 6,75. Siendo este último un punto donde hay una gran cantidad de curvas enlazadas peligrosas, punto donde la adherencia y el buen estado de la carretera son más importantes.



Figura 43. Entrada a camino rural en km 4,5.

En el km. 5,5 hay un acusado cambio de rasante seguido de una curva cerrada. En esta zona la velocidad máxima es de 70 km/h, velocidad elevada para trazar esa curva. Antes de este cambio de rasante únicamente se encuentra una señal que nos avisa del peligro de una curva peligrosa, pero en ningún momento se nos obliga o aconseja disminuir la velocidad.



Figura 44. Vista del cambio de rasante en sentido Martorell. Fuente: Google earth

Como se observa en la Figura 44, esta es la visión que tendría el conductor en el momento de pasar la señal. Aquí, debido al cambio de rasante que aún hay que sobrepasar, no se puede apreciar la curva ni los paneles de balizamiento que indicarían el grado de desaceleración. En la siguiente Figura 45 se observa la visión que tendría el conductor justo después de pasar el cambio de rasante. Como se puede apreciar la capacidad de reacción que tendría en el momento que viera la curva sería insuficiente incluso si las condiciones de la calzada son las favorables. Este es un punto que concentra también muchos accidentes, y por tanto, es otro punto crítico que debe tener máxima prioridad para ser reacondicionado.



Figura 45. Vista una vez superado el cambio de rasante. Fuente: Google earth

En el paso de la C-243c por la urbanización Can Santeugini (Castellbisbal) hay otro punto muy peligroso debido al gran número de accidentes que ocurren. En su gran mayoría se trata de temeridades por parte de los conductores. Como se puede apreciar en la Figura 46, en el km. 4 se encuentra el primer error. Justo después de pasar el cartel que indica que el conductor entra en una urbanización, vemos que la velocidad se limita a 70 km/h.



Figura 46. Cruce de entrada km.4 en sentido Martorell. Fuente: Google earth

A causa de este límite de velocidad a 70 km/h y a la falta de un carril de desaceleración suficientemente largo y de una isleta que delimite la zona entre los dos carriles de entrada a la urbanización, se obtiene el punto del cruce que concentra la mayoría de accidentes. Como se puede observar en la Figura 47, la línea de color rojo es la trayectoria que siguen todos los vehículos que tienen un accidente en esa zona. El susto o accidente, en la gran mayoría de los casos, es a causa de la señal de stop que hay en mitad de la zona cebrada. Los vehículos que se incorporan a velocidad excesiva son incapaces de trazar la curva de manera correcta y acaban invadiendo la zona cebrada y chocando contra la señal de stop o incluso invadiendo el carril contrario y pudiendo chocar de frente contra otro vehículo que se encuentra abandonando la urbanización.



Figura 47. Vista aérea cruce km.4 . Fuente: Google earth

También se observa como en al otro lado de la calzada, los carriles de aceleración y desaceleración están correctamente contruidos. Haciendo la entrada y salida de la urbanización mucho más segura para sus usuarios.

Otra gran causa de accidentes, que no es fallo de la señalización pero que también tendría fácil solución en esta zona, son los adelantamientos que se realizan utilizando la zona de aceleración del centro de la calzada. Tanto turismos como motocicletas utilizan esta zona de manera inadecuada para realizar un adelantamiento a camiones de gran tonelaje, furgonetas o a turismos que si que cumplen con las velocidades máximas. En la gran mayoría de los casos, estos conductores utilizan la parte cebrada de antes del cruce para iniciar su adelantamiento. Por ejemplo, un vehículo circulando en dirección Martorell describiría una trayectoria como la línea amarilla de la Figura 47 para realizar el adelantamiento temerario sobre otro vehículo. En esta trayectoria también se observa como el vehículo infractor ocupa gran parte de su tiempo de adelantamiento un carril de aceleración utilizado por vehículos que circulan en el otro sentido. Con lo cual, se tiene un vehículo circulando a más de 70 km/h que se encuentra con otro de

frente en plena aceleración para incorporarse a la carretera, al que se le podría suponer una velocidad de unos 50 km/h. Un impacto de este calibre supondría un peligro muy grande para los ocupantes de ambos vehículos, pudiéndose equiparar al choque de un vehículo a 60 km/h contra un muro de cemento, como se ha estudiado anteriormente en este estudio.

En las Figuras 48 y 49 hay un ejemplo práctico de los dos grandes peligros explicados con anterioridad. En la Figura 48 se observa como una motocicleta utiliza el carril de aceleración contrario para adelantar. Y en la Figura 49 se observa la señal de Stop a medio derribar en la incorporación que hay en el lado de la carretera con sentido Martorell. Ambas fotografías han sido recogidas por el Punto de Información Usuarios C-243c y compartidas a través de las redes sociales con el objetivo de hacer difusión de estos hechos.



Figura 48. Adelantamiento utilizando el carril de aceleración contrario. Fuente: @PIUC243c



Figura 49. Señal de stop derribada en cruce km.4. Fuente: @PIUC243c

En el km. 3,5, todavía en la urbanización, hay una señal que limita a 70 km/h seguida de una que indica que nos podemos encontrar personas por la calzada. No es hasta que llegamos a la rotonda que se encuentra una señal que limita la velocidad a 40 km/h, debido a la ya mencionada rotonda y a la presencia de una parada de autobús. En este caso no es que se trate de un fallo, pero sí que se vuelve a mencionar el hecho de que al tratarse de una zona urbana la señalización de limitación a 70 km/h seguida de una de peligro por la presencia de peatones crea un poco de confusión. Pero una vez se ha sobrepasado la rotonda, sobre al km. 3, si que se encuentra otro fallo.



Figura 50. Señal R-501 en urbanización Can Santeugini en sentido Martorell.

Como se observa en la Figura 50, aunque se sigue en la urbanización y aún está presente el aviso de posibles peatones cruzando la calzada, hay una señal que pone fin al tramo de limitación a 70 km/h. Pero seguidamente a menos de 50 metros, una señal de limitación de velocidad a 70 km/h junto con una que nos avisa de que se aproxima un cruce, como se observa en la Figura 51.



Figura 51. Señalización previa a curva en sentido Martorell. Fuente: Google earth

Como se ha mencionado con anterioridad, este tipo de señalizaciones solo crean confusión en los conductores. Muchas veces provocando que estos se vean bombardeados a base de señales y acaben sin prestar atención a estas o prestando más atención a estas que a la propia conducción. Como se encuentra en la norma 8.1-I.C [18], la señalización de las carreteras debe ser siempre de alta claridad y sencillez.

Llegando a la parte del final de la carretera, en el km. 0,5 correspondiente a la Figura 52 se llega a otra urbanización y se pasa por al lado de una estación de tren. Antes de entrar a la urbanización hay una señal de limitación de velocidad a 60 km/h y ninguna que nos avise del peligro de personas cruzando la calzada. La carretera queda en medio de la estación de tren y de la parada de bus y no hay ningún paso de cebra habilitado. Por tanto, queda claro el peligro que puede suponer tanto para los usuarios del transporte público como para los conductores de los vehículos que circulan por esta carretera.



Figura 52. C-243c km. 0,5 en sentido Terrassa

Otro gran problema de esta carretera que se estudia es la incongruencia que hay entre la señalización que se encuentra en sentido Martorell en comparación con la que hay en sentido Terrassa. El primer ejemplo de esto está en el cruce que hay en el km. 0,75, un cruce muy transitado ya que conecta con la BV-1201 que da acceso a la A-2.



Figura 53. Señalización previa al cruce del km. 0,75 en sentido Martorell



Figura 54. Señalización previa al cruce del km. 0,75 en sentido Terrassa

La Figura 53 corresponde a la señalización que hay en sentido Martorell, que aconseja circular a 60 km/h. Y la Figura 54 corresponde a la que se encuentra en sentido Terrassa, que limita la velocidad de circulación por el cruce a 50 km/h. Teniendo en cuenta que en la norma 8.1-I.C [18] mencionada anteriormente nos encontramos que dentro de los principios básicos las señalizaciones verticales deben seguir una uniformidad a la hora de ser colocadas y siguiendo los criterios de implantación de dicha norma, esto se trata de un error de implantación debido a que no se sigue el mismo criterio.



Figura 55. Señalización previa a la curva del km. 3 en sentido Terrassa

Otro ejemplo de este tipo de incongruencias está en el km. 3, en la urbanización de Can Santeugini. Como se ha mencionado anteriormente, en sentido Martorell, hay una señalización antes de la curva que nos limita la velocidad a 70 km/h y avisa del cruce, pero no se menciona la curva. Pero en sentido Terrassa, quitando que se vuelven a juntar señales que en cierto sentido se contradicen entre ellas, aquí sí que hay presente un aviso por curva peligrosa junto con una recomendación de velocidad a 60 km/h.

4.2. Análisis de la velocidad

Con el fin de analizar las velocidades en diferentes tramos y de esta manera ver si los usuarios de esta respetaban los límites de velocidad o adecuaban su velocidad al estado de la vía, se tomaron medidas en tres puntos distintos de la carretera y se empezó a medir la velocidad de los vehículos que circulaban por ella. Para realizar esta medición se utilizó el radar/medidor de velocidad Bushnell II, un medidor láser, muy compacto y con una tolerancia de ± 1 km/h. El hecho de contar con un medidor láser para saber la velocidad de los vehículos permitió la toma de gran cantidad de datos sin importar las condiciones de tráfico. Como se ha explicado anteriormente, los medidores láser son más precisos que los radares convencionales y permiten la toma de datos incluso cuando dos vehículos circulan muy juntos. También hay que recordar que estos medidores permiten la toma de mediciones en movimiento, por tanto, en caso de tener que realizar un pequeño movimiento para seguir la trayectoria de un vehículo no se verían comprometidos los datos tomados.



Figura 56. Vista aérea de los puntos de medición en C-243c. Fuente: Google earth

Tal y como aparece en la Figura 56, se eligieron tres puntos diferentes para tomar las medidas. Se decidió tomar las medidas en estos puntos debido a que eran rectas, lugares donde los conductores alcanzan la velocidad máxima. El km. 10,10 tiene un cruce que es la entrada a una urbanización y también a un polígono industrial, una zona bastante transitada. El km. 5 es una recta larga donde hay situada una gasolinera, una fábrica y un restaurante, una zona con bastantes incorporaciones y salidas de vehículos que pueden cortar un carril y donde la mantener la distancia de seguridad es muy importante. El km. 3 se encuentra en la urbanización

de Can Santeugini, el primer punto de entrada a la urbanización en sentido Martorell. Por este punto cruzan de manera peligrosa peatones y por lo tanto, mantener la atención en la carretera y circular a una velocidad adecuada es aún más importante. En este punto se colocaron unas balizas cilíndricas azules en la zona central cebrada debido a la cantidad de adelantamientos ilegales que se producían y que se iniciaban en mitad de las curvas de entrada a la recta, tanto en un sentido como en el otro. Este fue el principal motivo por el que se eligió el km. 3 para realizar las mediciones, ya que como se ha explicado, es un punto bastante conflictivo de la carretera.

4.2.1. Adquisición de medidas

Antes de tomar las medidas, se debe tener en cuenta que tanto los velocímetros de los vehículos como los radares tienen unas tolerancias. En el caso de los velocímetros en los vehículos, los velocímetros tienden a mostrar más velocidad de la que realmente es. Como se puede ver en el artículo “Margen de error en los velocímetros de los coches” [26], una directiva europea estipula que los velocímetros deben marcar una velocidad superior a la real y que la diferencia entre esta y la real deberá ser menor o igual que la velocidad real dividida entre 10 más 4 para que los vehículos puedan ser homologados. En este artículo también se puede ver como los vehículos más precisos tienen un error por debajo al 2%, generalmente los vehículos más nuevos, y los menos precisos de más del 10%.

Como se puede leer en las notas de prensa de la DGT [27], los radares de la DGT utilizan el ‘Sistema de tolerancia 7’ adoptado por la DGT el año 2015. Estas nuevas medidas unificaron el umbral de tolerancia de todos los radares propiedad de la DGT. A consecuencia de este sistema adoptado, los radares saltarían si el vehículo circulaba por encima de 7 km/h del límite de velocidad en las zonas con limitación de velocidad inferior a 100 km/h. Y en el caso de limitaciones de velocidad a partir de 100 km/h, los radares actuarían si la velocidad del vehículo es un 7% superior que la limitación. El motivo de esta medida es debido a que los errores de medición aceptados de los radares de la DGT van desde el 3% hasta el 7%. Es por este motivo que la DGT decidió aceptar el 7% de tolerancia en todos los radares.

El primer punto de medición que se estudiará y que servirá para explicar el proceso seguido a la hora de procesar los datos es el del km. 10,10 en sentido Martorell. Las mediciones fueron tomadas desde las 10:33h hasta las 10:40, durante la hora valle. Estaba nublado, el pavimento mojado y el ancho de la vía en este tramo era de 3 metros de ancho. La velocidad máxima en este tramo es de 50 km/h. Se obtuvieron los resultados de la Tabla 4.

V [km/h]	Tipo Vehículo	Tipo de circulación	Tiempo transcurrido [s]	V media [km/h]	n	q	k
68	Camión	Grupo	40	63,0	5	450	0,0071
63	Turismo						
64	Turismo						
56	Camión						
58	Turismo						
63	Camión	Grupo	15	61,000	3	720	0,0118
61	Turismo						
60	Turismo						
54	Turismo	Grupo	10	54	3	1080	0,02
55	Turismo						
54	Turismo						
67	Turismo	Circulación libre	-	-	-	-	-
57	Turismo	Circulación libre	-	-	-	-	-
49	Turismo	Circulación libre	-	-	-	-	-
74	Turismo	Circulación libre	-	-	-	-	-
56	Turismo	Circulación libre	-	-	-	-	-
68	Turismo	Grupo	30	66,000	9	1080	0,0164
69	Turismo						
62	Turismo						
66	Turismo						
68	Turismo						
66	Turismo						
66	Turismo						
60	Furgoneta						
59	Turismo						
71	Turismo	Circulación libre	-	-	-	-	-
68	Turismo	Circulación libre	-	-	-	-	-
66	Turismo	Circulación libre	-	-	-	-	-
53	Camión	Grupo	20	53,500	10	1800	0,0336
54	Turismo						
56	Turismo						
53	Turismo						
56	Turismo						
52	Turismo						
54	Turismo						
62	Turismo						
49	Furgoneta						
52	Turismo						

Tabla 4. Mediciones km.10,10 en sentido Martorell

Como se observa en la Tabla 4, a parte de la velocidad, se apuntó también si el vehículo circulaba en grupo o libre y en el caso de circular en grupo, cuánto tiempo transcurría entre el primero y el último. A partir de estos resultados se calculó también para cada grupo la velocidad media y el número de vehículos que lo formaba. Estos resultados se calcularon con el fin de poder saber como de representativa era la velocidad de los vehículos teniendo en cuenta la densidad del tráfico y la distancia media que había entre ellos. Es fácil llegar a la conclusión que a mayor densidad de tráfico, menor será la velocidad media de los vehículos. Por ejemplo, si se circula por una carretera de varios carriles donde el ancho de estos es prácticamente igual que el de nuestro vehículo, al pasar más cerca de los vehículos que hay a los lados se dejará más distancia de seguridad con el vehículo delantero. Esto es debido a que al circular tan cerca de otros vehículos el conductor se siente más incómodo y con mayor sensación de peligro y por tanto, se circula a una velocidad menor que si se circulará en unas condiciones de menor densidad de tráfico por la misma vía. Para poder calcular esta densidad se necesita la distancia que hay entre los morros de los vehículos que circulan por la carretera.

$$s = d + L$$

Donde:

- s es la distancia entre los morros de dos vehículos.
- d es la distancia entre los dos vehículos.
- L es la longitud del vehículo precedente.

Debido a que los grupos los forman diversos coches, se hace la media de las distancias. Una vez se obtiene la media, se hace la inversa de esta por el número de carriles y se obtiene la densidad de la carretera.

$$k = \frac{1}{sm \cdot n}$$

Donde:

- k es la densidad de la carretera
- sm es la distancia media entre los morros de los vehículos.
- n es el número de carriles de la vía.

Esto en la práctica es muy difícil de medir, ya que se debería conocer con gran precisión la distancia entre cada dos vehículos que se observaran que circulan en grupo. Por tanto, para llegar a este valor se seguirá un procedimiento diferente y más sencillo.

A parte de la densidad, en el estudio del tráfico en las carreteras también se tienen en cuenta factores como la intensidad y la velocidad media de los vehículos que la recorren. Con la intensidad nos referimos a la cantidad de vehículos que pasan por un punto o sección de la carretera por unidad de tiempo. La unidad de tiempo variara en función del uso que se le quiere dar al dato, es decir, dependiendo del estudio que se quiera realizar se utilizará una u otra. A la hora de realizar los estudios, los dos tipos de intensidad más comunes son:

- La **intensidad media diaria anual** o flujo medio diario anual es el número de vehículos que pasan por la sección de la carretera en todo un año y después dividido por los días que ha tenido este. Este tipo de intensidad se utiliza cuando planeamos modificar o adaptar una carretera, construir una nueva o para estudios de impacto acústico, es decir, se utiliza con proyectos en los que se requiere un alto nivel de exactitud en los valores.
- La **intensidad horaria** o flujo horario, sobretodo la que se calcula en hora punta, se utiliza para los proyectos en los que se da más importancia a la rápida obtención de datos que a la exactitud, como por ejemplo el control del tráfico, la coordinación de los semáforos o la capacidad de las vías.

En nuestro caso se utilizará la intensidad horaria ya que el objetivo es estudiar la velocidad media con la que circulan los vehículos en función del tráfico y a partir de esto hacer una estimación de la velocidad con la que circularían sin tráfico.

El otro dato que se utiliza para calcular la densidad es la velocidad media del conjunto de la circulación. Aquí se encuentran tres tipos de velocidades medias en función del tipo de medida que realicemos:

- La **velocidad media temporal** es la velocidad media de todos los vehículos que pasan por una sección concreta de la carretera, es decir, se trata de la media de las velocidades instantáneas de todos los vehículos al pasar por esa sección. La fórmula para su cálculo es la siguiente:

$$\bar{V}_t = \frac{\sum_{i=1}^n V_i}{n}$$

Donde:

- V_i es la velocidad instantánea del vehículo
- n es el número de vehículos que conforman la toma de datos
- V_t es la velocidad media temporal

- La **velocidad media espacial** es la velocidad media con la que circulan todos los vehículos que se encuentran en un tramo de la carretera, es decir, en un instante exacto se toman todas las velocidades instantáneas de los vehículos que están dentro del tramo de la carretera y se hace la media. La fórmula es igual que la que se utiliza para el cálculo de la velocidad media temporal.

Otra manera más sencilla de obtener esta media sería midiendo el tiempo que tarda cada vehículo. Una vez se tiene la media de estos tiempos, únicamente hay que dividir la distancia por este valor y obtener una velocidad. Las fórmulas son las siguientes:

$$\bar{t} = \frac{\sum_{i=1}^n t_i}{n}$$

Donde:

- t_i es el tiempo que tarda cada vehículo en recorrer el tramo.
- n es el número de vehículos.
- \bar{t} es el tiempo medio que tardan los vehículos en recorrer el tramo.

$$\bar{V}_e = \frac{d}{\bar{t}}$$

Donde:

- d es la distancia del recorrido.
- \bar{t} es el tiempo medio que tardan los vehículos en recorrer el tramo.
- \bar{V}_e es la velocidad media espacial.

- La **velocidad media de recorrido** es la media de velocidades de todas las velocidades medias de cada vehículo en un tramo de carretera en concreto, es decir, midiendo la velocidad media de cada vehículo en concreto durante un tramo de carretera, se hace la media de todas velocidades medias que se han obtenido. La fórmula que se utiliza es la siguiente:

$$\bar{V}_r = \frac{\sum_{i=1}^n d_i}{\sum_{i=1}^n t_i}$$

Donde:

- d_i es la distancia recorrida por cada vehículo.
- t_i es el tiempo que ha tardado cada vehículo en completar el recorrido.
- n es el número de vehículos que conforman la muestra.
- \bar{V}_r es la velocidad media de recorrido.

Para llevar a cabo nuestro estudio, y teniendo en cuenta nuestro aparato de medida, se utilizará el primer cálculo de media de velocidades que se ha mencionado. No es la más adecuada ya que nos interesaría más la velocidad media espacial, debido a que sería más útil conocer la velocidad media con la que circulan los diferentes vehículos a lo largo de todo nuestro tramo de estudio. Por ejemplo, en el caso del km. 3 la velocidad media espacial a lo largo de toda la recta que atraviesa la urbanización. También hay que decir que a causa de que las rectas donde hemos medido las velocidades no son muy largas y que la mayoría de los vehículos vienen en aceleración, los resultados que se hubieran obtenido con el otro método no serían muy dispares.

Una vez se tienen los valores de intensidad horaria y de velocidad media temporal para cada grupo de vehículos en nuestra toma de datos, se puede conseguir el valor de densidad de tráfico. Esto es debido a la relación que existe entre la intensidad, la velocidad media y la densidad. Si se analizan los valores como un conjunto, es sencillo llegar a la conclusión que si se multiplica la densidad de vehículos, que no deja de ser el número de vehículos por unidad de distancia, por la velocidad media de los vehículos que forman el grupo se obtendrá la intensidad de vehículos que circulan por la carretera, es decir, el número de vehículos por unidad de tiempo. Por tanto, para calcular la densidad solo hay que aislar la densidad de la fórmula y substituir los valores:

$$q = k \cdot v \rightarrow k = \frac{q}{v}$$

Donde:

- q es la intensidad horaria o flujo horario del grupo de vehículos.
- v es la velocidad media temporal del grupo de vehículos.
- k es la densidad del grupo de vehículos.

Si se coge de ejemplo el primer grupo de la Tabla 4, el procedimiento del cálculo de la velocidad media temporal, la intensidad o flujo horario y la densidad horaria sería el siguiente:

V [km/h]	Tipo Vehículo	Tiempo transcurrido [s]
68	Camión	40
63	Turismo	
64	Turismo	
56	Camión	
58	Turismo	

Tabla 5. Grupo de vehículos registrado en el km.10,10

- Primero se calcula la velocidad media temporal:

$$\bar{V}_t = \frac{\sum_{i=1}^n V_i}{n} = \frac{68 + 63 + 64 + 56 + 58}{5} = 63 \text{ km/h}$$

- Segundo se calcula el flujo o intensidad horaria:

$$q = \frac{n}{t} = \frac{5}{40} = 0,125 \text{ vehiculos/segundo}$$

$$0,125 \frac{\text{vehiculos}}{\text{segundo}} \cdot \frac{3600 \text{ segundos}}{1 \text{ hora}} = 450 \text{ vehiculos/hora}$$

- Tercero se calcula la densidad del grupo de vehículos:

$$k = \frac{q}{v} = \frac{450}{63} = 7,143 \text{ vehículos/km}$$

$$7,143 \frac{\text{vehículos}}{\text{km}} \cdot \frac{1 \text{ km}}{1000 \text{ m}} = 0,0071 \text{ vehículos/m}$$

Una vez que se tienen los datos de todos los grupos calculados, se pasa a representarlos en una gráfica. Con el objetivo de hacernos una idea de a qué velocidad circularían los vehículos si no tuvieran más coches delante, en el eje Y se tendrá la velocidad media temporal y en el eje X la densidad de vehículos. Cuando ya se obtiene la gráfica de dispersión con todos los puntos que se han calculado, se añade una línea de tendencia lineal. Esta línea de tendencia ayudará a poder calcular la densidad máxima de la carretera y la velocidad de los vehículos cuando circulan solos. La densidad máxima de una carretera se da cuando está saturada y la velocidad de los vehículos es 0, por tanto, se encontrará cuando la línea de tendencia corte con el eje X. La velocidad máxima por su parte se dará cuando solamente haya un vehículo en la carretera, por tanto, cuando la densidad sea cero y la línea de tendencia corte con el eje Y. El resultado final quedará como la Figura 57:

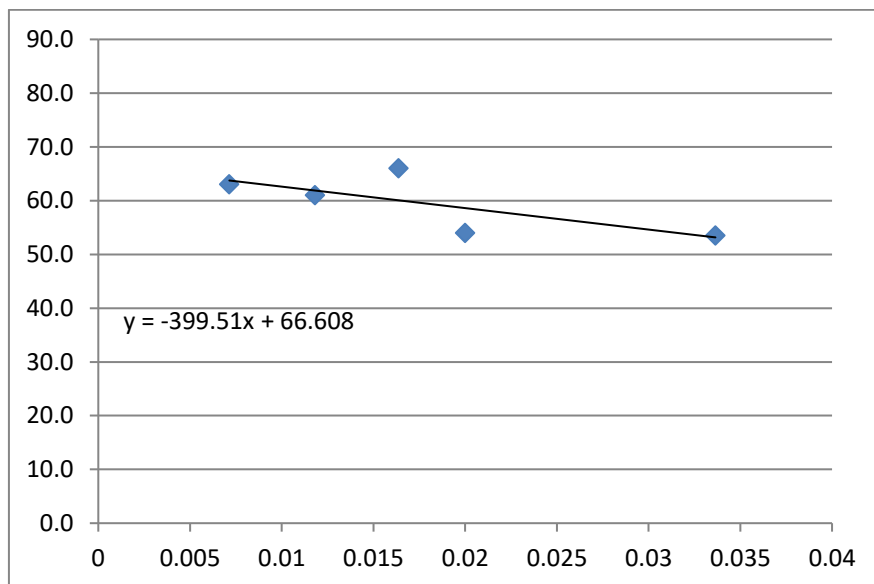


Figura 57. Gráfica mediciones km. 10,10 en sentido Martorell

Y en este caso, la velocidad y densidad máximas serán:

- Velocidad máxima:

$$y = -399,51x + 66,608 \rightarrow (x = 0) \rightarrow y = 66,608 \text{ km/h}$$

- Densidad máxima:

$$\begin{aligned} y = -399,51x + 66,608 \rightarrow (y = 0) \rightarrow 399,51x &= 66,608 \rightarrow \\ \rightarrow x = \frac{66,608}{399,51} &= 0,167 \text{ m}^{-1} \end{aligned}$$

Como ahora se conoce la densidad máxima, se puede utilizar este valor para calcular la distancia mínima entre vehículos con la carretera saturada:

$$s_{min} = \frac{1}{1 \cdot k} = \frac{1}{0,167} = 5,99 \text{ m}$$

Con todos los datos necesarios para analizar el km.10,10 de la C-243c. Ahora se repite el proceso con las demás mediciones y así se podrá pasar a estudiar el comportamiento de los conductores en los diferentes tramos.

Los siguientes datos de la Tabla 6 corresponden al km. 3 en sentido Terrassa, donde la velocidad máxima es de 70 km/h. Las mediciones fueron tomadas desde las 11:00h hasta las 11:10h. En este momento el cielo ya se empezaba a despejar pero el pavimento seguía mojado.

V [km/h]	Tipo Vehículo	Tipo de circulació n	Tiempo transcurrido [s]	V media [km/h]	n	q	k
67	Turismo	Libre	-	-	-	-	-
67	Camión	Libre	-	-	-	-	-
62	Camión	Libre	-	-	-	-	-
68	Turismo	Grupo	5	68,00	2	1440	0,0212
68	Furgoneta						
51	Camión	Grupo	15	57,50	4	960	0,0167
57	Turismo						
68	Camión						
58	Turismo						
56	Camión	Grupo	10	56,50	4	1440	0,0255
56	Furgoneta						
59	Turismo						
57	Turismo						
57	Camión	Grupo	20	54,50	6	1080	0,0198
55	Turismo						
57	Turismo						
54	Turismo						
49	Turismo						
51	Turismo						
57	Camión	Grupo	10	51,50	4	1440	0,0280
48	Turismo						
51	Turismo						
52	Turismo						
62	Camión	Grupo	45	62,50	10	800,00	0,0128
63	Turismo						
62	Turismo						
65	Camión						
64	Turismo						
62	Turismo						
60	Turismo						
65	Camión						
70	Furgoneta						
48	Turismo						
70	Turismo	Grupo	5	71,000	2	1440	0,0203
72	Turismo						
58	Camión	Grupo	15	55,000	5	1200,00	0,0218
57	Motocicleta						
55	Motocicleta						
55	Turismo						

V [km/h]	Tipo Vehículo	Tipo de circulació n	Tiempo transcurrido [s]	V media [km/h]	n	q	k
52	Turismo	Grupo	10	58,000	3	1080	0,0186
69	Turismo						
58	Furgoneta						

Tabla 6. Mediciones km.3 sentido Terrassa

A partir de estos datos se ha obtenido la siguiente gráfica de la Figura 58:

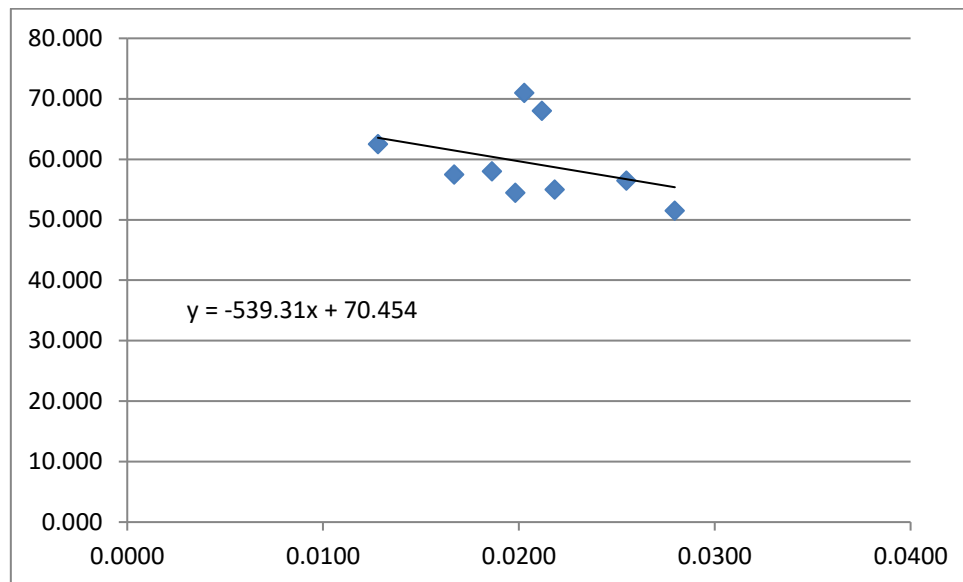


Figura 58. Gráfica mediciones km.3 en sentido Terrassa

Y con la ecuación de la tendencia lineal, se puede encontrar el valor de la velocidad máxima y de la densidad máxima, que luego servirá para encontrar la distancia mínima entre vehículos con la carretera saturada.

- La velocidad máxima es de 70,454 km/h.
- La densidad máxima es de 0,131 m⁻¹.
- La distancia mínima entre vehículos es de 7,655 m.

Los siguientes datos de la Tabla 7 corresponden al km. 3 en sentido Martorell. Las mediciones fueron tomadas desde las 11:10h hasta las 11:18h. El cielo estaba despejado y el pavimento seguía húmedo. Con estas mediciones sí que se notó que nos encontrábamos en la hora valle, ya que la cantidad de vehículos que pasaron fue baja. Por tanto, estos datos serán los que tengan menos peso a la hora de llegar a una conclusión más adelante. También recordar que la velocidad máxima es de 70 km/h.

V [km/h]	Tipo Vehículo	Tipo de circulación	Tiempo transcurrido [s]	V media [km/h]	n	q	k
82	Turismo	Libre	-	-	-	-	-
82	Turismo	Grupo	10	66,000	3	0,3	0,0164
66	Turismo						
59	Turismo						
83	Turismo	Grupo	30	66,000	5	0,16 7	0,0091
81	Turismo						
65	Turismo						
66	Furgoneta						
62	Turismo						
68	Camion	Libre	-	-	-	-	-
66	Furgoneta	Libre	-	-	-	-	-
62	Camion	Grupo	15	62,000	4	0,26 7	0,0155
63	Turismo						
62	Turismo						
51	Turismo						

Tabla 7. Mediciones km.3 en sentido Martorell

A causa de que la cantidad de datos es baja, la calidad de la gráfica resultante es también baja. Debido a que no aportaba datos útiles y que tenían un error grande, se ha decidido no tenerla en cuenta. En cambio, las mediciones sí que pueden ser útiles a la hora de decidir las medidas a aplicar en este tramo, ya que muestran la velocidad con la que circulan los conductores cuando la densidad de tráfico es prácticamente mínima.

Las siguientes mediciones de la Tabla 8 fueron tomadas en el km.5 en sentido Terrassa. En este largo tramo recto los vehículos vienen en plena aceleración debido a que vienen de una curva cerrada. Las mediciones fueron tomadas de 11:25h a 11:35h, con el cielo despejado y el pavimento ya seco. La velocidad máxima en esta zona es de 90 km/h.

V [km/h]	Tipo Vehículo	Tipo de circulación	Tiempo transcurrido [s]	V media [km/h]	n	q	k
54	Camión	Libre	-	-	-	-	-
63	Camión	Grupo	10	63	3	1080	0,017 1
63	Camión						
63	Camión						
57	Camión	Grupo	5	54,500	2	1440	0,026 4
52	Turismo						
63	Camión	Grupo	3	64,500	2	2400	0,037 2
66	Turismo						
72	Turismo	Libre	-	-	-	-	-
72	Turismo	Grupo	15	66,000	8	1920	0,029 1
68	Turismo						
56	Turismo						
55	Turismo						
66	Furgoneta						
64	Turismo						
66	Turismo						
70	Turismo						
77	Camión	Grupo	10	77,000	3	1080	0,014 0
80	Turismo						
68	Turismo						
99	Turismo	Libre	-	-	-	-	-
72	Furgoneta	Libre	-	-	-	-	-
68	Furgoneta	Grupo	10	68,500	4	1440	0,021 0
69	Turismo						
69	Turismo						
68	Turismo						
66	Turismo	Grupo	3	65,000	2	2400	0,036 9
64	Turismo						

Tabla 8. Mediciones km.5 en sentido Terrassa

Se ha obtenido la gráfica de la Figura 59 a partir de las mediciones anteriores:

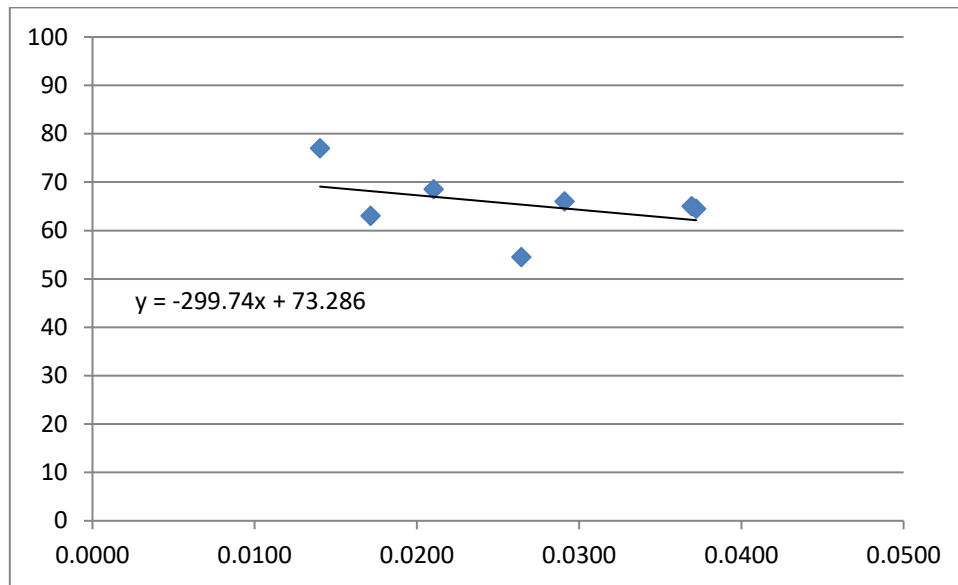


Figura 59. Gráfica mediciones km. 5 en sentido Terrassa

A partir de la ecuación de tendencia lineal se obtienen los siguientes valores de velocidad máxima, densidad y distancia mínima entre vehículos:

- La velocidad máxima es de 73,286 km/h.
- La densidad mínima es de 0,244 m⁻¹.
- La distancia mínima entre vehículos es de 4,09 m.

Y por último, las últimas mediciones que se tomaron desde las 11:35h hasta las 11:50h fueron en el mismo tramo que las anteriores pero esta vez en sentido Martorell. En este sentido, los vehículos venían de una curva media y en bajada. En el punto donde nosotros estábamos situados empezaban a acelerar para afrontar la larga recta hasta la curva cerrada. La Tabla 9 muestra los resultados obtenidos:

V [km/h]	Tipo Vehículo	Tipo de circulació n	Tiempo transcurrido [s]	V media [km/h]	n	q	k
57	Turismo	Grupo	15	59,500	4	960	0,0161
60	Turismo						
62	Turismo						
59	Turismo						
70	Camion	Libre	-	-	-	-	-
65	Turismo	Grupo	20	60,000	5	900	0,0150
57	Turismo						
60	Turismo						
57	Turismo						
61	Turismo						
76	Turismo	Libre	-	-	-	-	-
68	Turismo	Grupo	15	58,000	3	720	0,0124
58	Turismo						
56	Turismo						
73	Turismo	Libre	-	-	-	-	-
50	Turismo	Grupo	10	51,000	4	1440	0,0282
51	Turismo						
51	Turismo						
52	Turismo						

Tabla 9. Mediciones km.5 en sentido Martorell

Igual que con los datos de la Tabla 7, en esta ocasión volvimos a notar la hora valle con la baja cantidad de tráfico. Debido a que los valores calculados no son muy diferentes entre sí y no muestran la verdadera realidad del tramo, hacer la gráfica no aportaría ningún dato útil.

4.2.2. Problemas encontrados con las mediciones

Uno de los primeros problemas que nos encontramos a la hora de realizar las medidas, y que no se dio con la primera medición, fue el hecho de que los conductores nos vieran tomar las medidas en un lateral de la carretera. En el km. 10,10, que fue el lugar de la primera medición, existía un apartadero de arena en un lateral de la calzada donde estacionaban otros vehículos y nos quedamos en el interior de nuestro vehículo a tomar medidas. En los otros casos los conductores nos veían en el lateral con el radar y el chaleco reflectante e inmediatamente aminoraban la marcha. El caso más exagerado lo vivimos en el km. 3, en la urbanización de Can Santeugini. Un camión que circulaba a más de 90 km/h en una zona limitada a 70 km/h, a la que paso por nuestro lado y se dio cuenta que teníamos un radar realizo una frenada muy fuerte que incluso provoco que el camión se le moviera de lado a lado. La velocidad que capto el radar fue de 68 km/h, muy inferior a su velocidad real si tenemos en cuenta la fuerte frenada que realizo. Pero sin duda la situación más veces repetida fue la de empezar a tomar mediciones de un grupo que circulase bastante compactado, del primero sí que recogíamos la velocidad real pero conforme iban pasando la velocidad iba disminuyendo. Esto era debido a que a la que poníamos la pistola radar a la vista, el primer coche no lo veía pero los que le proseguían si y entonces empezaban todos a frenar hasta que el último pasaba incluso 10 km/h por debajo del límite de velocidad, situación muy extraña de ver en los tramos rectos de la C-243c.

Otro de los problemas con el que no contamos fue el de realizar las mediciones en la hora valle. Elegimos esa hora para tomar las mediciones con el objetivo de poder estudiar la velocidad con la que circulan los vehículos en condiciones de bajo tráfico que es cuando de verdad la gente tiene libertad para circular a la velocidad que ellos deciden. Pero, debido a que en ocasiones circulaban tan pocos vehículos, no pudimos reunir la cantidad de datos que nos hubiera gustado y así poder extraer unos datos con un mínimo nivel de error.

4.2.3. Situaciones peligrosas avistadas

Mientras se tomaban las mediciones en los diferentes puntos que se han mencionado con anterioridad, se presenciaron algunas situaciones peligrosas que se consideraran a la hora de presentar las soluciones a corto y largo plazo para la carretera. En el km. 3, en la urbanización de Can Santeugini, fue donde se presenciaron más. La primera fue la del frenazo del camión para que no midiéramos su velocidad, como se ha explicado en el punto anterior. Pero debido a que se trata de una situación que en cierta manera provocamos nosotros, la situación peligrosa que se considerará será la de un exceso de velocidad exagerado.



Figura 60. Peaton cruzando la calzada en urbanización Can Santeugini

Como se aprecia en la Figura 60, otra de las situaciones de peligro que presenciarnos fue la de peatones cruzando por mitad de la carretera en una zona que recordemos es de 70 km/h. Esta fue la única que pudimos captar con la cámara, pero la cantidad fue la suficiente como para tener que construir un paso elevado o poner un paso de cebra. Los peatones empezaban a cruzar cuando veían que no venía nadie por el carril y después justo en la mitad miraban si venían por el otro lado, llegándose a quedar parados en mitad del carril central esperando a tener un espacio para cruzar. Si se tiene en cuenta que en esta carretera el número de adelantamientos ilegales en zonas como esta es muy elevado, las posibilidades de que haya un accidente son más que elevadas.

Otra situación que presenciamos fue una que tristemente tenemos más que vista hoy en día en las carreteras de este país. En la misma zona donde el peatón cruzaba de manera peligrosa, vimos circular a un vehículo a una velocidad que debía ser aproximadamente de unos 20 km/h. Lo primero que pensamos fue que su intención era entrar en la urbanización y por eso circulaba tan lentamente, pero al acercarse a nosotros vimos que iba utilizando su smartphone. El conductor circulaba mirando completamente el teléfono y no levanto la vista en ningún instante de la recta. Esta situación es más que peligrosa si tenemos en cuenta la cantidad de accidentes que podrían provocar. Lo primero de todo es que no estaba presentando ninguna atención a la carretera, por tanto, su capacidad de reacción ante un peligro era más que nula. Lo segundo es que las posibilidades de salirse de la carretera y tener un accidente o incluso invadir el carril contrario y que justo alguien al salir de la curva ciega se lo encuentre de frente, teniendo un accidente frontal. En caso de que ocurriera el accidente frontal sería entre un vehículo con una velocidad de unos 60-70 km/h contra otro que circula en sentido contrario a unos 20 km/h, recordemos que un choque frontal entre dos vehículos a unos 60 km/h puede provocar como mínimo lesiones graves en los ocupantes del vehículo y incluso la muerte. Lo tercera es que circulaba a una velocidad inferior a la mínima permitida que en una zona de 70 km/h es de 35 km/h. Tratándose de una carretera revirada y con una alta cantidad de curvas ciegas, donde los turismos y las motocicletas en muchos casos superan abultadamente los límites de velocidad, las probabilidades de que haya un accidente por alcance son altísimas. Y hay que tener en cuenta que si un motorista circulando a más de 70 km/h choca contra un vehículo a 20 km/h, tiene mayores posibilidades de morir que de sobrevivir. En la Figura 61 se ve el vehículo que provoco esta cantidad de situaciones de peligro.



Figura 61. Conductor circulando mientras utiliza el teléfono móvil

En el km.5, en sentido Martorell, presenciamos como unas motocicletas iniciaban un adelantamiento a un tráiler en una zona con ninguna visibilidad. Las motocicletas iban circulando a una velocidad de +90km/h cuando se encontraron con el tráiler que estaba iniciando la curva. Aunque sí que es cierto que en ese punto está permitido iniciar el adelantamiento, al tener el tráiler delante y siendo la curva a la derecha, este tapaba cualquier posible peligro que se pudieran encontrar las motocicletas. Esos peligros podrían ser un vehículo incorporándose a la carretera desde la gasolinera o desde la fábrica por ejemplo, en ese caso, debido a la diferencia de velocidad, sería imposible que los motoristas pudieran reaccionar a tiempo.



Figura 62. Zona de adelantamientos peligrosos en km.5

La Figura 62 sirve para hacerse una idea de la situación anteriormente descrita. El camión está justamente posicionado de tal manera que tapa completamente la visión de toda la recta y sus incorporaciones a cualquier vehículo justo detrás suyo.

Otra de las situaciones que no avistamos, pero de la que hay un montón de indicios que lo confirman, es la velocidad inadecuada con la que circulan los camiones de alto tonelaje. Mientras circulábamos a la velocidad máxima permitida tomando nota de los posibles fallos, y como hemos explicado con anterioridad, en un tramo de curvas se nos engancho un vehículo de esta clase a nuestra parte trasera. No respetaba ni la distancia de seguridad ni la velocidad máxima para su clase de vehículo ni la máxima en ese tramo, y esto acaba provocando situaciones que dejan un rastro como la que se observa en la Figura 63 y que se repite en innumerables puntos de la carretera.



Figura 63. Señal de neumáticos de un camión

Circulan incluso un poco por encima de la velocidad máxima y sin prestar atención a las señalizaciones de peligro por curvas. Esto acaba provocando que se encuentren justo en la curva y tengan que realizar una frenada de emergencia para no salirse de la carretera. Y no solo existe este tipo de situación, cuando es hora punta la carretera se satura, si circulan a estas velocidades y justo después de una curva ciega se encuentran con un grupo de vehículos detenidos, será imposible que este consiga frenar a tiempo y provocaría un accidente múltiple. Hay que tener en cuenta que debido a la masa de estos vehículos, su momento de inercia es mucho mayor y para conseguir detenerlos completamente se necesita una cantidad de energía muy alta. Por tanto, los destrozos que se podrían provocar tanto a nivel material como a nivel humano son incalculables.

Y por último, una de las situaciones peligrosas que más se avistan es las vías interurbanas. Los ciclistas son usuarios más que frecuentes de estas carreteras, ya sea en grupo o en solitario. La gran diferencia de velocidad que existe entre estos y los vehículos, sobre todo con pendiente positiva, provoca un gran número de accidentes. Como se puede leer en el artículo [24], en el que se hace un repaso de estado actual de los ciclistas en las carreteras, el volumen de incidentes en carreteras con bicicletas implicadas ha aumentado un 55% entre 2008 y 2015: de 964 a 2173, dicen las cifras de tráfico. También se hace mención a que aunque el volumen de fallecidos en la carretera ha disminuido si se compara con los años 2000, cuándo se registraron una cantidad más próxima al centenar de víctimas, las cifras a partir de 2008 dejaron de descender y desde entonces hasta el 2016 han ido fluctuando a la alta y a la baja.



Figura 64. Ciclistas en la C-243c. Fuente: @PIUC243c

Con el balance de seguridad vial de 2017 de la DGT [25], se aprobó la adecuación de los límites de velocidad, la intensificación de la vigilancia y la implantación de señalización específica en 138 rutas ciclistas protegidas que suman un total de 4600km. También se aprobó una campaña de señalización durante los fines de semana en los paneles de mensaje variable. Con el gran número de ciclistas que circulan por nuestra carretera de estudio, en el momento de elegir las soluciones, se tendrá en cuenta el factor de los ciclistas para decidir cuál es la velocidad segura en el tramo de curvas que estemos estudiando. De esta manera, se tratará de eliminar por completo la posibilidad de que un vehículo se encuentre con un ciclista a la salida de una curva y debido a su velocidad no tenga la capacidad de evitarlo y se produzca el atropello.

4.3. Soluciones a corto plazo

Una vez se tienen claros los diferentes problemas de la carretera que se ha estudiado, se pueden empezar a plantear los diferentes tipos de soluciones. Las soluciones que se presentaran en este apartado son aquellas que ya se pueden aplicar y que no requieren de una gran inversión para llevarlas a cabo.

Con el objetivo de presentar las soluciones de manera clara e intuitiva, se dividirá la carretera en diferentes tramos y se presentarán los diferentes tipos de señalizaciones que se modifican, las que se quitan y las que se eliminan.

El primer tramo será el tramo de curvas que va desde el km. 12,9 hasta el km. 10. Este tramo se caracteriza por tener una gran cantidad de curvas cerradas y que en varias ocasiones tienen cruces para la entrada a urbanizaciones en mitad de estas.



Figura 65. Vista aerea tramo km.12,9 - 10. Fuente: Google earth

En este tramo hay un total de 10 curvas que tienen un radio de entre 20 y 35 metros. Donde 5 son de 180 grados, 3 de 90 grados y 2 de 45 grados. Utilizando los cálculos anteriormente explicados para poder conocer la velocidad de circulación segura se han obtenido los siguientes resultados:

$$v^2 = 127 \cdot 25 \cdot \left(0,180 + \frac{5}{100}\right) \rightarrow v = \sqrt{517,525} = 22,72 \text{ km/h}$$

Teniendo en cuenta una curva de 25 metros de radio, un peralte del 5% y un coeficiente de adherencia de 0,180, que corresponde al coeficiente de adherencia que tendría un vehículo circulando a 40 km/h, se ha obtenido una velocidad de circulación segura de 27,02 km/h. También existen cruces en mitad de dos curvas de 180 grados, que aunque tienen zonas habilitadas para los carriles de aceleración/deceleración, debido a las características del trazado no se tiene una visibilidad para reaccionar a un posible peligro de más de 60 metros. A partir de estas características, y teniendo en cuenta que la carretera tiene una pendiente de entre el 2% y el 4%, si miramos la Tabla 10 que encontramos en el documento [19]:

Velocidad	Pendiente									
		-8	-6	-4	-2	0	2	4	6	8
	40	40 m	40 m	40 m	40 m	40 m	40 m	40 m	40 m	40 m
	60	80 m	80 m	75 m	75 m	75 m	70 m	70 m	70 m	65 m
	80	140 m	135 m	130 m	125 m	120 m	115 m	110 m	110 m	105 m
	100	220 m	210 m	200 m	190 m	180 m	170 m	165 m	160 m	155 m
	120	340 m	320 m	300 m	280 m	265 m	250 m	240 m	230 m	220 m

Tabla 10. Visibilidad mínima en función de la velocidad y la pendiente. Fuente: [19]

En la que se muestra la señalización de velocidad máxima que se deberá aplicar en curva en lugar de la de recomendación de velocidad en el caso de tener una visibilidad baja. Como se observa, para nuestra carretera la señalización debería ser de 40 km/h. Teniendo en cuenta que es un tramo de curvas enlazadas en las que en todas se debería imponer una velocidad máxima de 40 km/h, la solución más efectiva y clara que se puede aplicar para que los conductores entiendan el mensaje perfectamente es el de limitar todo el tramo de curvas a 40 km/h con una señalización de limitación de velocidad tipo R-301. Por tanto, se deberán retirar todas las señales tipo S-7 de recomendación de velocidad y R-301 de limitación de velocidad a 50 km/h, y se colocarán del tipo R-301 de limitación a 40 km/h en el inicio del tramo y después cada 1 minuto de circulación con el objetivo de recordarle al conductor la velocidad máxima del trazado.

Teniendo en cuenta que los vehículos y circulan a una velocidad de 70 km/h, deberemos colocar la señal de 40 km/h para que sea visible a una distancia de mínimo 105 metros, siguiendo las especificaciones de la Tabla 11 que se encuentra en el apartado 7.1.4 del documento [19].

VELOCIDAD DE APROXIMACIÓN (km/h)	LIMITACIÓN DE VELOCIDAD (km/h) EN LA SEÑAL										
	0	20	30	40	50	60	70	80	90	100	110
40	55	45									
50	80	70	60	45							
60	105	95	85	75	55						
70			120	105	90	65					
80				140	120	100	75				
90					160	140	105	85			
100						180	155	125	95		
110							205	175	140	100	
120								225	190	155	115

Tabla 11. Distancia de visibilidad geométrica mínima a una señal de limitación de velocidad. Fuente: [19]

Junto a la señalización R-301 se colocará una señalización del tipo P-14a o P-14b que es el peligro por el que la velocidad se limita a 40 km/h. Se colocarán este tipo de señalización en lugar de la P-13a o P-13b debido a que la distancia entre curvas no permite la colocación de estas para que sean visibles con suficiente antelación para poder reaccionar al peligro.

Debido también a que es el tramo no llega a ser de 3 km de longitud, junto a la señalización P-14 no se colocará un cartel del tipo S-810 que informe de la distancia del tramo. Por tanto, se retirará la señal del tipo P-13 en el inicio del tramo de curvas en sentido Terrassa y se sustituirá por una del tipo P-14 junto con una del tipo R-301.

Teniendo en cuenta todo lo que se ha explicado con anterioridad, el inicio del tramo quedará como se observa en la Figura 66.

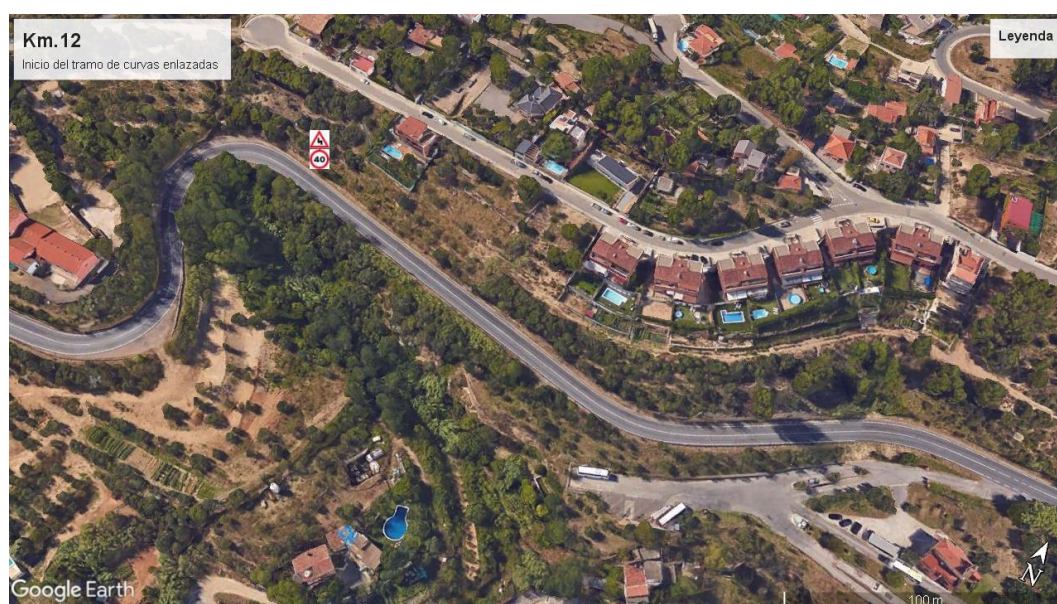


Figura 66. Señalización km. 12

Siendo la distancia de la recta que precede a la señalización de más de 105 metros, por tanto, habrá distancia de visibilidad suficiente para que los conductores puedan disminuir su velocidad de forma segura.

En sentido Terrassa, la señalización será la misma y estará situada en el km.10. El resultado final será como el de la Figura 67.



Figura 67. Señalización km. 10,5

Debido a que en este caso la velocidad de aproximación será de 50 km/h a causa de estar en una urbanización, la señal se deberá colocar con una distancia de visibilidad de 45 metros. Distancia que se cumple a la perfección debido a que el tramo anterior es prácticamente una recta.

En el tramo intermedio, las señales que advierten de cruce permanecerán igual que en la actualidad debido a que ya se encuentran bien colocadas. La señal R-301 y P-14 se irá colocando cada 1 minuto de circulación, que será más o menos cada 666,6 metros.

$$40 \frac{km}{h} \cdot \frac{1000 m}{1 km} \cdot \frac{1 h}{3600 s} = 11,11 \frac{m}{s}$$

$$d = 11,11 \cdot 60 = 666,6 m$$

Teniendo en cuenta que el tramo es de 1,5 km, se colocaran uno o dos grupos de señales más a parte de la que se coloca al inicio de tramo. Debido a que las señales serán con el objetivo de recordar al conductor las limitaciones vigentes en ese tramo, no necesitarán encontrarse a una distancia mínima de visibilidad. Pero sí que se debe ir con cuidado y que no se encuentren a

menos de 50 metros de las que indican la aproximación de un cruce, ya que en ese caso se podría crear confusión entre los conductores a causa de enseñarles mucha información de golpe. En la siguiente Figura 68 se observa como quedarían colocadas las señales.

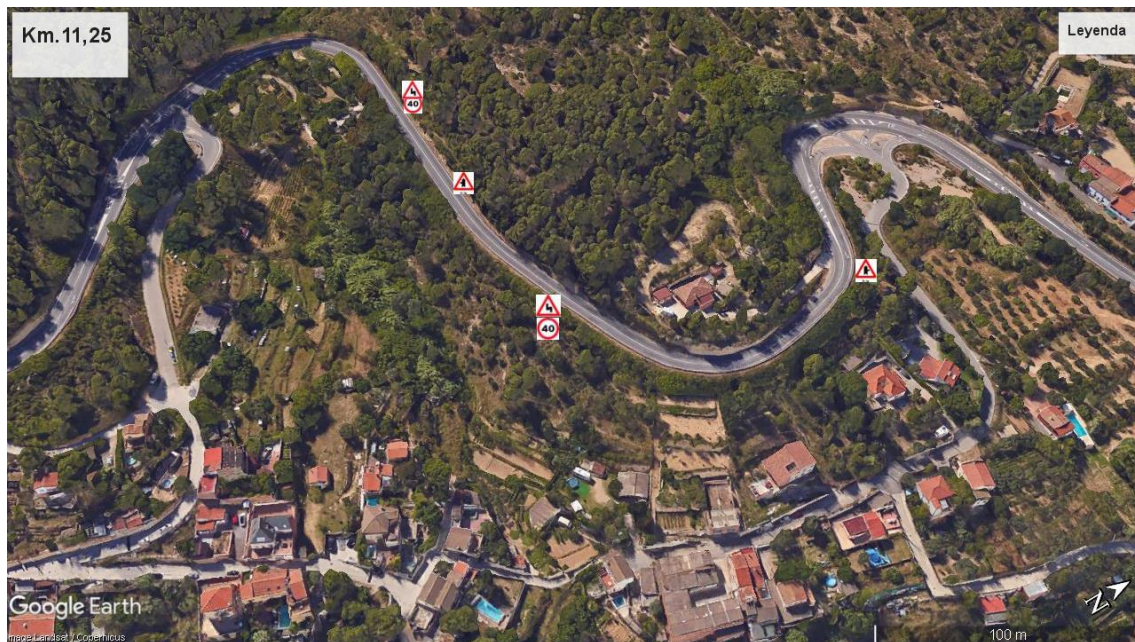


Figura 68. Señalización km. 11,25

Una vez finalizado el primer tramo, se pasará a tratar el segundo tramo que va desde el km.10,5 hasta el km. 8. En este tramo, en sentido Martorell, se encuentra primero el inicio de la urbanización Can Solà, luego el cruce que conecta con la entrada a esta, después por el que conecta con la BV-1203 y por último se llega a la urbanización Ca n'Amat y a la parte donde la carretera corta con el sendero que forma parte de una ruta de montaña bastante concurrida.

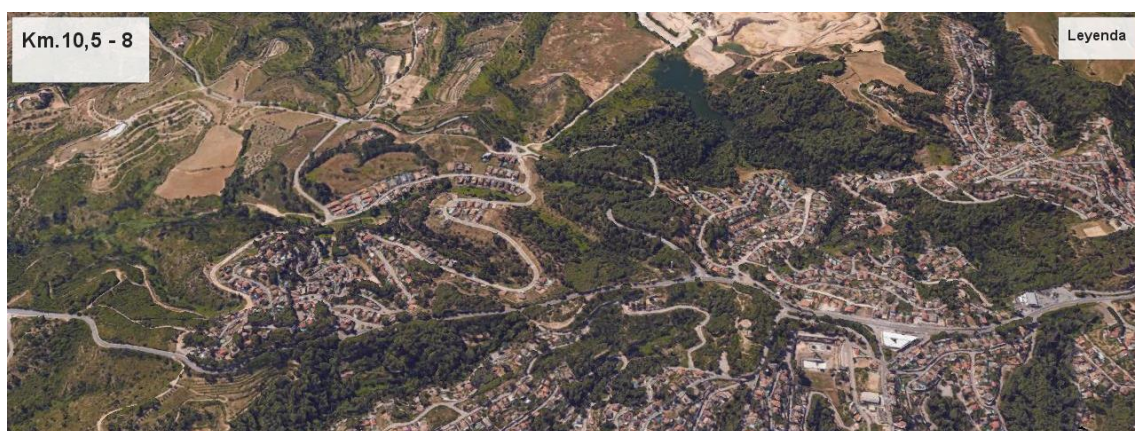


Figura 69. Vista aerea tramo km. 10,5 - 8. Fuente: Google earth

En el km. 10,5 junto a la señal R-301 de limitación de velocidad se colocará un cartel del tipo S-500 que indique el inicio de la urbanización Can Solà. En el km. 10, y teniendo en cuenta las mediciones de velocidad que registramos, colocar un radar en ambos carriles que permita el control de la velocidad. Colocaremos un radar en lugar de un badén debido a que se trata de una carretera interurbana e instalar un badén provocaría más situaciones peligrosas de las que quitaría. En este mismo tramo también sustituir las zonas cebradas por isletas con el objetivo de que el conductor tenga la sensación que la carretera es mas estrecha y así disminuya la velocidad, haciendo caso a la señalización R-301 que limita la velocidad a 50 km/h. Aquí la limitación es aún más importante que en otros puntos debido a que hay un gran número de peatones por la zona y que muchas veces cruzan la carretera.

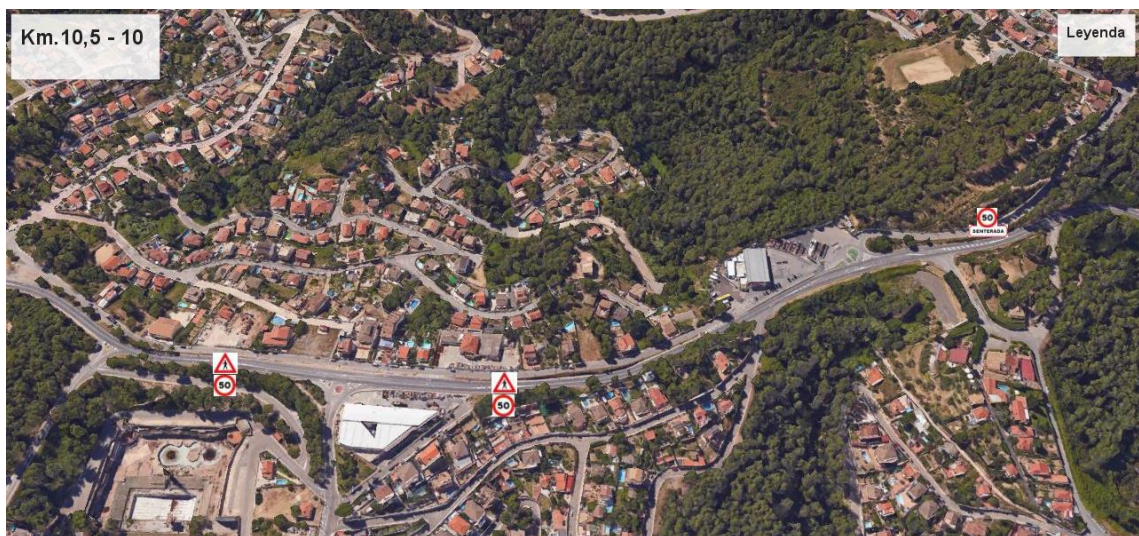


Figura 70. Señalización recta km. 10,5 - 10

Las señales tipo P-20 de aviso de peligro de peatones y la R-301 de limitación de velocidad a 50 km/h, se moverán y se colocarán encima de las isletas para dar mayor visibilidad y señalar la presencia de una isleta. Sino colocáramos nada encima, podrían volverse peligrosa en condiciones de poca visibilidad. En la Figura 71 se observa como la zona delimitada por las líneas negras sería la isleta y las señales de los laterales irían colocadas encima de estas.



Figura 71. Vista detalle de la señalización en la recta del km. 10,5 – 10

Las señalizaciones de cruce ya están bien colocadas en la actualidad y no necesitan de ninguna modificación.

En el cruce del km. 9,5 que conecta con la BV-1203 se seguirá el mismo procedimiento que en el anterior. Con el objetivo de forzar a los vehículos a reducir la velocidad viendo que no hacen caso a las señalizaciones a 50 km/h, se añadirán dos isletas donde en la actualidad solo son zonas cebradas. De esta manera también conseguiremos que la gente que quiere acceder o salir de la urbanización no pueda saltarse la zona cebrada como hasta ahora. En sentido Martorell en este caso se substituirán las señales R-301 limitadas a 50 km/h por otras limitadas a 40 km/h debido al gran número de accidentes por alcance que hay cada año. También se hará esta modificación para tratar de conseguir que la carretera no se sature en este punto y de tiempo a que los vehículos puedan abandonar o incorporarse a la carretera con mayor agilidad, ya que la aceleración que tendrán que efectuar será menor que si los vehículos circularan a 50 km/h. En este caso no hará falta señalizar la presencia de peatones ya que es una zona que está bastante alejada del núcleo de casas y por la que no cruzan peatones. Después del cruce se colocará una señal del tipo S-510 que indique el final de la urbanización junto con la del tipo R-501 que indica el final de la limitación a 50 km/h. A una distancia de 50 metros de estas, se añadirá una del tipo R-301 que indique la limitación a 70 km/h que será la más indicada teniendo en cuenta que sigue habiendo presencia de curvas peligrosas.

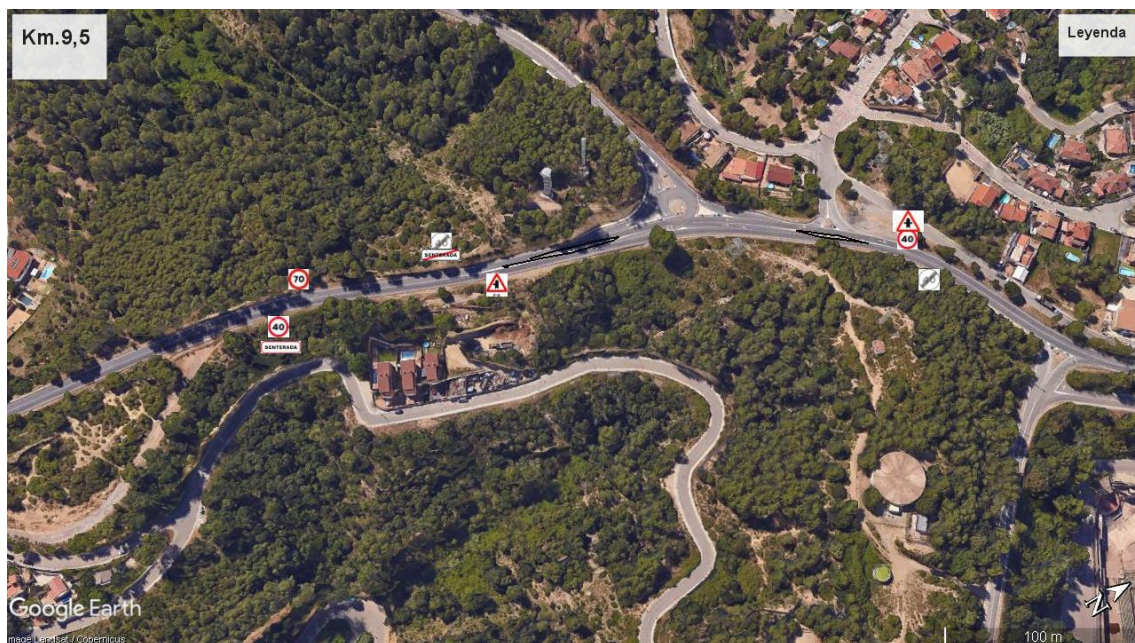


Figura 72. Señalización km. 9,5

En sentido Terrassa se indicará el inicio de la urbanización Can Solà con un cartel del tipo S-500 acompañado de una señal R-301 que indique que la limitación es de 40 km/h. A modo de recordatorio, estas señales deben verse desde una distancia de mínimo 105 metros, debido a que los vehículos se aproximan a una velocidad de 70 km/h. A 50 metros de estas se colocará la señal de cruce tipo P-1, así estará situada antes de que comience el cruce y se verá con suficiente distancia para que los conductores la vean con tiempo. Una vez pasado el cruce se colocará una señal del tipo R-501 que quita la limitación a 40 km/h antes impuesta. Como se trata de un poblado, la velocidad pasará a ser de 50 km/h, y como más adelante hay una señal que lo indica, no se instalará una nueva a 50 metros de la R-501.

En la última parte del tramo, en sentido Martorell y antes de la urbanización de Ca n' Amat, se modificará de lugar la señal R-305 que prohíbe el adelantamiento y se colocará 150 metros más atrás, 50 metros antes de la señal del tipo R-301 que limite la zona a 50 km/h. Junto a esta se colocará una del tipo de S-500 que indique que se está entrando en una urbanización. Únicamente con la señalización S-500 ya se debería entender que es una zona limitada a 50 km/h, pero teniendo en cuenta que se viene de una larga bajada y que los conductores no suelen prestar mucha atención a los carteles de poblado, mejor colocar una que indique explícitamente la velocidad máxima. A parte de estas, se colocará una del tipo P-20 que indique la presencia de peatones cruzando la calzada. Debido a que más adelante se llegará a la zona donde la carretera cruza el sendero, a la señalización P-20 la acompañará un cartel del tipo S-810 que indique que el peligro puede aparecer en los próximos 750 metros. Justo cuando se sobrepase el punto donde la carretera cruza con el sendero, se indicará con una señal tipo S-510 que la urbanización finaliza y se volverá a colocar una señal tipo R-301 que indique que la velocidad está limitada a 50 km/h y se acompañará con una del tipo P-14a que avise de la presencia de curvas enlazadas a continuación. De esta manera los conductores sabrán que la velocidad sigue limitada porque vienen curvas enlazadas y que tienen que ir con precaución.



Figura 73. Señalización tramo km. 8,5 – 8

En sentido Terrassa, en el km.8 se encontrará primero con el cartel S-500 junto con la señal R-301. Esta señal servirá de recordatorio debido a que antes de las curvas enlazadas ya existe una señal R-301 junto con una P-14b. De esta manera, los dos sentidos están regulados de la misma manera, y no se siguen criterios diferentes. Este es un error muy presente en la actualidad y que provoca confusión entre los conductores que recorren la carretera cada día en ambos sentidos. A 50 metros de la R-301 y S-500, se colocará una señal del tipo P-20 junto con un cartel S-810 que indique que a partir de la señal y durante 750 metros, pueden haber peatones cruzando la calzada. Una vez pasado el último cruce, se colocará una señal del tipo S-510 que indique final de poblado y a 50 metros una del tipo R-301 que indique que la velocidad ahora está limitada a 70 km/h. La señal del tipo R-502 se modificará de lugar y se colocará junto a la señal de 70 km/h que antes no existía.

Debido a que en ambos sentidos se han colocado las señales R-301 que limitan la velocidad a 50 km/h, se quitarán de su ubicación a las de tipo S-7 que recomiendan ir a 50 km/h y que acompañan a las de tipo P-14. De esta manera se consigue evitar otro de los errores que más se ha encontrado en esta carretera y que es el de colocar una señal del tipo R-301 y seguida de otra del tipo S-7 que recomiende otra velocidad. Error que, como todos los anteriores de señalización, solo provoca confusión en los conductores que acaban sin saber que velocidad es la adecuada.

El siguiente punto de la carretera a tratar es el cruce del km. 7,75 que conecta con la B-151. En este punto la única solución a corto plazo que se puede aplicar para conseguir disminuir el número de accidentes es la de colocar pivotes reflectantes en hilera encima de la zona cebrada. De esta manera se evitarán los adelantamientos ilegales que se realizan en zonas que tienen carriles de aceleración como esta y que provocan accidentes por alcance. A parte de esta medida, se colocarán nuevas señales con el objetivo de limitar la velocidad en las curvas enlazadas de antes del km.7,75 y el tramo siguiente al cruce.

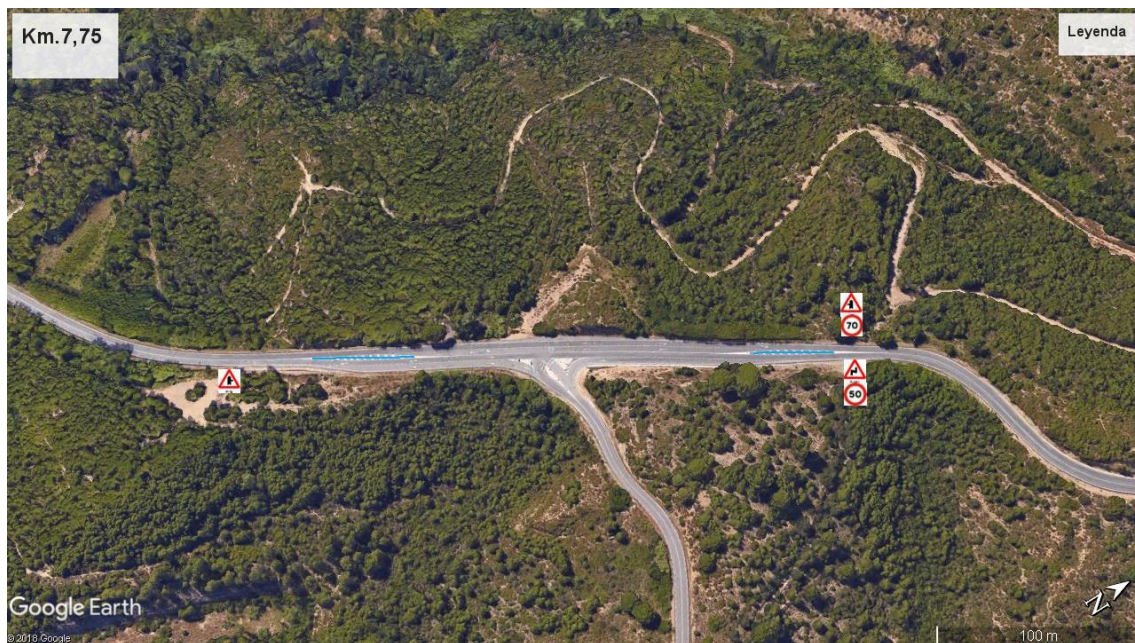


Figura 74. Señalización cruce del km. 7,75

Las líneas azules indican donde irán colocados los pivotes reflectantes para evitar los adelantamientos ilegales. Las señales del tipo P-14 que indican se aproxima un cruce están bien colocadas y no requieren de ninguna modificación. En sentido Terrassa, una vez pasado el cruce se elimina la señal del tipo S-7 que indica que la velocidad recomendada es de 50 km/h y se substituye por una del tipo R-301 que limita la velocidad máxima a 50 km/h. Esto se hace con el objetivo de que la señalización en ambos sentidos siga el mismo criterio, como se ha dicho anteriormente. También hay que decir que, aunque no se tuviera en cuenta este criterio, se debería colocar la señal antes de las curvas enlazadas porque la recta que las precede no es suficientemente larga como para que se pueda reducir la velocidad de 70 a 50 km/h de manera segura antes del punto donde la carretera cruza con el sendero.

El siguiente tramo será el que va desde el km. 7,75 hasta el km.5, un tramo de curvas rápidas en el que hay que cambiar de lugar algunas señales con el objetivo de que estas sean más visibles o se vean con mayor antelación y no cuando el conductor se encuentra ya encima de la curva.



Figura 75. Vista aérea del tramo km. 7,75 - 5. Fuente: Google earth

En sentido Martorell, las primeras 4 curvas que se encuentran tienen un radio muy parecido, de entre 100 y 120 metros. Si se calcula la velocidad en curva segura que deberían indicar los carteles se obtiene el siguiente resultado:

$$v^2 = 127 \cdot 110 \cdot \left(0,137 + \frac{7}{100}\right) \rightarrow v = \sqrt{2891,79} = 53,76 \text{ km/h}$$

Teniendo en cuenta que la velocidad máxima del tramo es de 70 km/h, que la adherencia en curva para un vehículo circulando a 70 km/h es de 0,137 y que el peralte en esta zona es más acusado y llega a ser del 7%, se obtiene una velocidad en curva de 53,76 km/h. Por tanto, en esta primera parte del tramo se deberán colocar señales del tipo S-7 que recomienden una velocidad de 60 km/h y que vayan acompañadas de una del tipo P-14 que advierta que se acerca una zona de curvas enlazadas peligrosas o del tipo P-13 que advierta de una curva peligrosa.

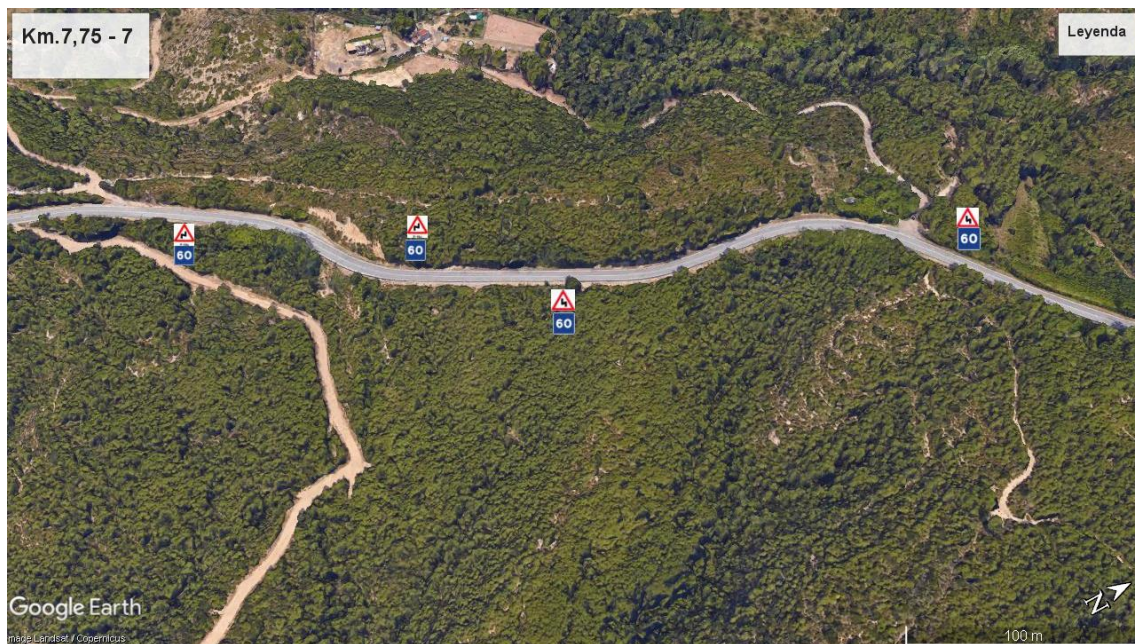


Figura 76. Señalización tramo de curvas enlazadas del km. 7,75 – 7

En el primer grupo de señales, teniendo en cuenta que se circula en sentido Martorell, se substituirá la señal S-7 a 40 km/h por una a 60 km/h. También se desplazará 50 metros más hacia atrás la localización actual para conseguir que los conductores vean la señal con mayor claridad y no se la encuentren solo salir de la curva anterior. En el segundo grupo en la actualidad solo se encuentra la señal P-14a y no la S-7 que recomienda ir a 60 km/h. Por tanto, como en el primer caso, se añadirá la señal S-7 y también se retrasará la señal unos 75 metros para que los conductores no se encuentren la señal solo abandonar las curvas enlazadas y tengan tiempo para entender el mensaje que se les quiere transmitir.

En sentido Terrassa, se seguirá el mismo principio que el anterior descrito. Pero esta vez el primer grupo de señales, que es el de la izquierda del todo de la imagen, se substituirá la señal S-7 ya existente a 50 km/h por una 60 km/h. Esta vez dejando el grupo en el mismo lugar ya que tiene una visibilidad correcta. En el segundo grupo, como en el otro sentido, se añadirá la señal S-7 a 60 km/h y se desplazará el conjunto al final de la pequeña recta para que los conductores tengan tiempo de leer el mensaje.

Después de las 4 curvas anteriormente descritas, se aproxima un grupo de curvas enlazadas de radios más variados. Las siguientes curvas son las que concentran la mayor cantidad de accidentes del tramo que se está analizando, debido a que hay curvas con radios muy diferentes entres sí. Las curvas cerradas son de 90 grados prácticamente y tienen un radio de 50 metros, mientras que las abiertas son curvas que no llegan a los 45 grados y que tienen un radio de más de 100 metros. Si se calculan las velocidades en curva seguras para estos dos tipos de curvas, se observa que los resultados serán considerablemente diferentes:

- Curvas de radio 50 metros:

$$v^2 = 127 \cdot 50 \cdot \left(0,137 + \frac{7}{100}\right) \rightarrow v = \sqrt{1314,45} = 36,26 \text{ km/h}$$

- Curvas de radio 100 metros:

$$v^2 = 127 \cdot 100 \cdot \left(0,137 + \frac{7}{100}\right) \rightarrow v = \sqrt{2628,9} = 51,27 \text{ km/h}$$

En las curvas cerradas se aconsejaría una velocidad de 40 km/h y en las abiertas de 60 km/h. Esta es la causa de tantos accidentes, la gran variedad entre velocidades hace que los conductores se confíen y luego cuando se encuentran que la curva se cierra más de lo que esperaban es demasiado tarde para reaccionar. Con esto en mente y teniendo en cuenta que después de estas 4 curvas vienen otras 4 que son abiertas, no se puede limitar la zona a 50 km/h. En lugar de limitar la velocidad, se colocarán señales S-7 en lugares donde tengan una muy buena visibilidad. También hay que tener en cuenta que una de las causas que provoca que los conductores no hagan caso a las recomendaciones de velocidad es cuando sienten que podrían ir mucho más rápido de lo que la señal indica sin perjudicar a la comodidad, por ejemplo, cuando en una curva de radio superior a 100 metros se encuentran una señal que recomienda ir a 40 km/h. Por tanto, si a diferencia de las que hay colocadas actualmente, se colocan unas que vayan acorde con los diferentes tipos de curva seguro que los conductores empiezan a prestar más atención a las señales.

En la primera curva, en sentido Martorell, se añadirá una señal S-7 de velocidad recomendada a 40 km/h junto a la ya existente P-14b de curvas enlazadas peligrosas. También se añadirá otra señal S-7 de velocidad recomendada a 40 km/h a la P-14a ya existente. Pero en este caso se intercambiará de lugar el grupo de señales que informa sobre la curva con la que indica el peligro de animales salvajes cruzando la calzada, del tipo P-24, que va acompañada de un cartel S-810 que indica que el peligro existe en los siguientes 1500 m. Esto se hace con el objetivo de que los conductores puedan ver con mayor claridad a que curva se refiere la señal y de verdad reduzcan la velocidad.

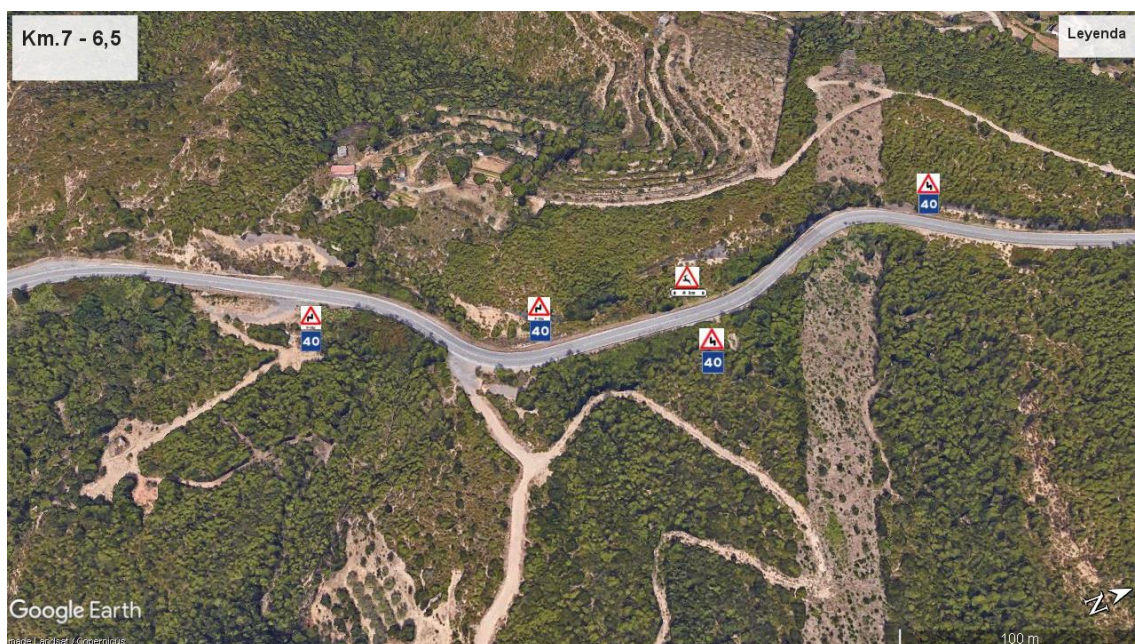


Figura 77. Señalización curva peligrosa del km. 7

En sentido Terrassa, se añadirá una señal S-7 a 40 km/h junto con otra P-14a antes del primer grupo de curvas enlazadas ya que en la actualidad no hay ninguna señal y si el conductor se aproximara a 70 km/h, aunque sea subida, no conseguiría trazar la curva. Después se desplazará la señal P-14b que ya hay en la actualidad y se colocará al inicio de la curva. Junto a ella, una señal S-7 que recomiende la velocidad a 40 km/h y así poder tomar de manera segura la última curva cerrada.

Si se sigue el trazado de la carretera en sentido Martorell, las dos curvas que quedan antes de llegar al km.6 son abiertas, de 125 metros de radio las dos, y se pueden tomar de manera segura a 70 km/h, que es la velocidad máxima permitida. Pero, una vez que se llega a la parte final del tramo que se está estudiando, para mejorar la seguridad se deberán realizar modificaciones.



Figura 78. Señalización del tramo km. 6 – 5

En sentido Martorell, se colocará una señal R-301 que limite la velocidad a 50 km/h junto con una R-13a que avise de la curva peligrosa. Esto se realizará de esta manera debido a que las curvas que se aproximan se consideran cerradas, porque sus radios son de entre 50 y 60 metros, y porque la carretera pasa por una zona con una gran cantidad de entradas a caminos rurales a ambos lados. La siguiente señal P-13a se atrasará unos 50 metros y se colocará justo antes del cambio de rasante para que los conductores conozcan que hay después del cambio de rasante. Después de esta curva se colocará otra señal P-13b que avise la curva peligrosa a la izquierda que viene a continuación. Una vez se ha superado la curva, se añadirá una señal R-501 que indique el final del tramo a 50 km/h, de modo que el límite a partir de este punto pasará a ser de 90 km/h.

En sentido Terrassa, como se viene de un tramo a 90 km/h y se quiere que la velocidad máxima antes de la curva pase a ser de 50 km/h, se añadirá primero una señal R-301 que limite la velocidad a 70 km/h junto a la que indica el final del tramo de adelantamientos. Después, a unos 105 metros de esta se añadirá una R-301 que limite la velocidad a 50 km/h y se acompañará de una del tipo P-13a que avise del peligro de una curva cerrada. Se colocarán ambas R-301 a 105 metros de cada una, así habrá la distancia suficiente para visualizar la segunda señal y poder ralentizar la marcha del coche, cumpliendo de esta manera con la Tabla 14 extraída de la norma 8.1-I.C [18] anteriormente comentada. Por tanto, las señales S-7 de velocidad recomendada a 50 km/h y la P-14a que existen en la actualidad serán eliminadas y remplazadas por la R-301 y P-13a. Antes del inicio de la segunda curva se añadirá otra señal P-13b que advierta que se aproxima una curva peligrosa a izquierdas. Después de esta segunda curva, en la actualidad, hay otra señal P-13b que se eliminará ya que si se circula a 50 km/h no se puede considerar peligrosa. Una vez pasado el tramo recto, hay una señal S-7 que recomienda una velocidad de 40 km/h junto con una señal P-13b. Como en el caso anterior, se sustituirá la señal S-7 y se dejará únicamente la P-13b. Por último, después de la última curva se añadirá una señal R-301 que limite la velocidad a 70 km/h, ya que el tramo en el que se entra es de curvas más abiertas.



Figura 79. Señalización recta del km. 5

En el km.5, con el objetivo de aumentar la seguridad de los adelantamientos que se realizan en esta recta, se acortará la zona de adelantamiento para que los que se realicen se inicien cuando se tiene una buena visibilidad, ya que se ha explicado en el apartado del análisis de velocidades, muchos vehículos inician el adelantamiento a grandes camiones al salir de la curva cuando no tienen visibilidad de lo que está pasando más adelante. Por lo tanto, la zona correspondiente a la línea negra pasará a ser una línea continua que prohíba el adelantamiento, que corresponde a una distancia de 215 metros menos para adelantar.

También se añadirá en sentido Martorell una señal del tipo P-20 que advierta del peligro por la presencia de peatones en la calzada. Esto es debido a que al final de la recta se encuentra un restaurante y al otro lado una parada de autobús, por tanto, los peatones que salen del restaurante están obligados a cruzar al otro lado para coger el autobús. En sentido Terrassa, la señal ya existe en la actualidad y no hará falta modificarla.

Tanto en sentido Terrassa como en sentido Martorell se añadirán señales del tipo P-1 que adviertan de la posibilidad de vehículos incorporándose por ambos lados de la calzada, señales que en la actualidad no están implementadas. El resto de señales que observamos en la Figura 79 ya están implementadas y no requieren de ninguna modificación.

El siguiente tramo que se analizará es la urbanización de Can Santeugini, que va desde el km. 4 hasta el km. 2. En esta urbanización se encuentran importantes fallos que deben ser arreglados para aumentar la seguridad de los habitantes de la zona. Ya que, como se ha comentado anteriormente, en esta urbanización hay un gran número de accidentes debidos a la velocidad inadecuada del tramo y a los adelantamientos temerarios que realizan algunos conductores.



Figura 80. Vista aerea del tramo km. 4 - 2. Fuente: Google earth

El primer cruce de entrada a la urbanización, si se circula en sentido Martorell, es donde se encuentran la gran mayoría de accidentes por alcance. Esto es debido a que algunos vehículos utilizan los carriles de aceleración/desaceleración para adelantar a los vehículos que tienen delante.

Pero primero se comprobará si la limitación a 70 km/h es correcta. Se podrá considerar a una carretera travesía si esta tiene conexión directa con las calles del municipio, por tanto, la C-243c en su paso por la urbanización se puede considerar una travesía. En la Tabla 12 extraída del apartado 7.1.2 del documento [19].

	$6 \leq d_s \leq 20m$	$20 < d_s < 50m$	$d_s > 50m$
POBLADO DISPERSO	$70 \leq V \leq 90$	NL	NL
POBLADO COMPACTO	50	$70 \leq V \leq 90$	NL

NL = no limitar específicamente. Se mantendrá la limitación existente en la carretera antes de llegar al poblado.

Tabla 12. Limitaciones de velocidad superiores a 50 km/h en travesía. Fuente: [19]

Donde d_3 se refiere a la distancia entre la fachada de las casas y la calzada. La distancia en este tramo de la carretera llega a ser inferior a 20m pero también en algunos casos es superior a esta. Tratándose de un poblado compacto y teniendo en cuenta que con la velocidad limitada actualmente a 70 km/h el número de accidentes es elevado, se sustituirá la señal R-301 que indica que la velocidad máxima es a 70 km/h por otra que indique 50 km/h. Con esto se conseguirá que los vehículos no circulen a velocidades tan altas, de esta manera habrá más tiempo de reaccionar y también que los vehículos que circulen en sentido Martorell y utilicen el corto carril de entrada a la urbanización no tengan que reducir tanto su velocidad para trazar la curva. También se colocará una isleta en la zona cebrada, área delimitada por la línea negra en la Figura 81, donde se encuentra la señal de stop. De esta manera los conductores al verla, trazarán la curva a una velocidad más cercana a 40 km/h para no chocarse contra esta.

En sentido Terrassa, se sustituirá la señal R-301a 70 km/h por otra a 50 km/h como se ha hecho en el lado contrario. Una vez superado el cruce, se añadirá un cartel S-510 que indique el final de la urbanización y a 50 metros de este una señal R-301 que indique que la velocidad máxima pasa a ser de 70 km/h. A causa de colocar esta última señal, el grupo de señales ya existente formado por una S-7 a 40 km/h y otra P-13a quedaran desplazados 100 metros más adelante. De esta manera los vehículos la verán con suficiente distancia como para comprender el mensaje. En este caso la limitación a 70 km/h es correcta aunque luego nos recomiende tomar la curva a 40 km/h debido a que es una curva aislada y no un grupo de curvas enlazadas.

Por último, en mitad de las dos zonas cebradas de la zona central de la calzada, línea azul en la Figura 81, se añadirá una línea de pivotes reflectantes. Esta medida se adopta para limitar el espacio de adelantamiento de los vehículos y así provocar que los conductores no inicien el adelantamiento ilegal.

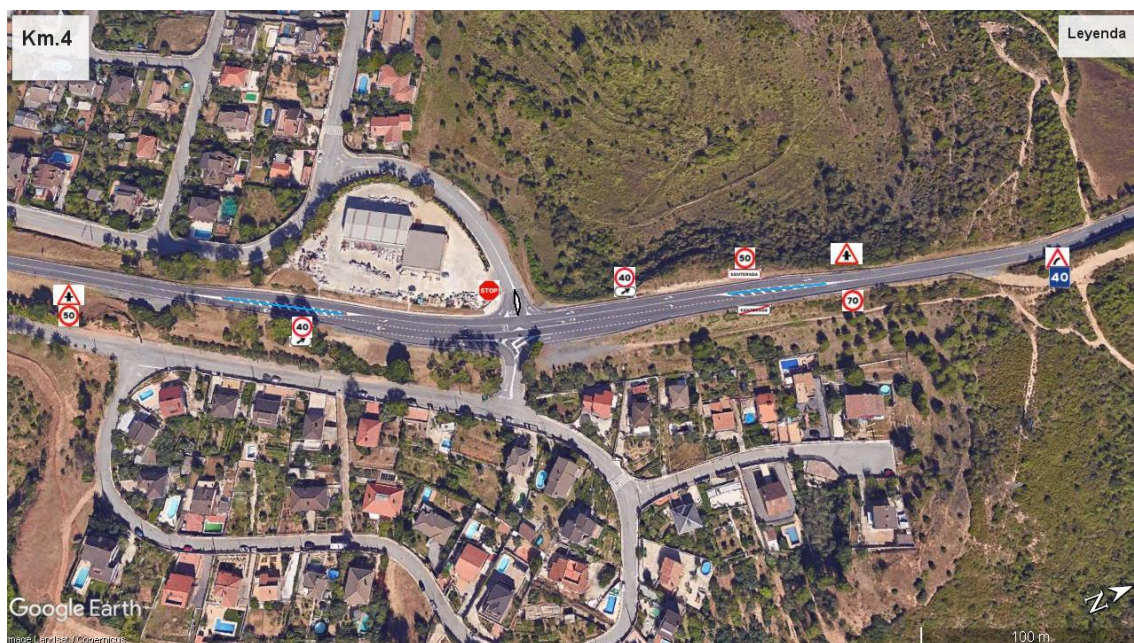


Figura 81. Señalización cruce en el km. 4 de la urbanización Can Santeugini

El siguiente punto del tramo que se tratará será el comprendido entre la rotonda de la urbanización hasta una vez superado el segundo cruce de acceso a la urbanización, en el km. 3. Esta es una zona en la que se encuentran diferentes señalizaciones en función de si se circula en un sentido y otro. A parte, por el segundo cruce cruzan una gran cantidad de peatones a causa de que no hay ningún paso habilitado en esa zona.

En sentido Martorell se eliminará la señal R-501 que quitaba la limitación a 70 km/h y también la R-301 que volvía a limitar la velocidad a 70 km/h 50 metros después. Después de la rotonda se colocará una señal R-301 a 50 km/h junto a una P-13b que advierta que se aproxima una curva peligrosa. Después de la curva se añadirá una señal P-20 que indique la posible presencia de peatones en la calzada junto a un cartel S-810 en su parte inferior que indique que los peatones pueden aparecer en los siguientes 500 metros. Antes de entrar en la curva de antes del cruce, se colocará una señal P-1 que advierta que se aproxima un cruce. La señal R-301 a 40 km/h junto al cartel S-870 ya está bien situada y no requiere de ninguna modificación. Después del cruce se añadirá una señal R-301 a 50 km/h para recordar que la velocidad sigue estando limitada a 50 km/h. Al superar las curvas se colocará una señal R-301 a 90 km/h, se realizará después y no antes debido al radio de las dos curvas, que obligaría a colocar una señal S-7 a 50 junto a otra P-14 para señalar que se aproxima una curva peligrosa.

En sentido Terrassa hay más problemas a la hora de colocar las señales, debido a que se viene de una zona de curvas y esto nos limita el espacio a la hora de colocarlas. Hay que recordar que como el vehículo se aproxima circulando a 90 km/h, se deberá colocar primero una señal R-301 a 70 km/h y luego otra a 50 km/h. Para que esto sea legal y los conductores tengan tiempo a adecuar su velocidad de forma segura, las señales deberán poder verse a una distancia mínima de 105 metros. Primero se colocará una señal P-20 junto a un cartel S-810 que indique que en los siguientes 500 metros se pueden encontrar peatones cruzando la calzada. Seguidamente una señal R-301 a 70 km/h junto a otra P-1 que ya se encuentran bien colocadas y no requieren de modificación. La señal R-301 a 50 km/h se colocará justo a 105 metros de la salida de la curva y antes del cruce. Así los conductores la verán con suficiente distancia como para reaccionar. Como ya se circulará a 50 km/h, se eliminará la señal S-7 a 60 km/h junto con la P-13b que se encontrarían antes de la curva. Se eliminarán porque ya no son necesarias debido a que al circular a 50 km/h la curva ya no resulta peligrosa. La señal P-13a de antes de la última curva ya se encuentra en la actualidad y no requiere de modificación.

Igual que en el anterior cruce, se colocarán pivotes reflectantes en las zonas cebradas con el objetivo de limitar la zona donde los conductores podrían cometer una infracción y de esta manera reducir el número de posibles adelantamientos. Los grupos de señales R-301 a 40 junto con los carteles S-870 ya se encuentran bien colocados en la actualidad y no requieren de ninguna modificación.



Figura 82. Señalización cruce de la urbanización Can Santeugini en el km. 3

El último tramo de la carretera que se analizará es el que va desde el km. 1 hasta el inicio de la carretera en el km. 0. En este tramo se encuentra un cruce que conecta con la carretera que hace de enlace con la A-2, un cruce muy transitado y donde casi cada día hay un accidente. También se encuentra una urbanización donde hay una estación de tren de los ferrocarriles catalanes y una parada de bus. Los problemas que se encontraron en este tramo fueron que no se señalizaba ni de igual manera ni de forma segura cuando un conductor se aproximaba al cruce en un sentido y el otro, y también que no se adecuaba la velocidad a la hora de entrar en la urbanización ni se avisaba de la presencia de peatones. En este caso se marcó la carretera de estudio con una línea de color verde en la Figura 83 para comprender mejor que recorrido sigue.



Figura 83. Vista aérea del tramo km. 1 - 0. Fuente: Google earth

Primero el cruce que conecta la C-243c con la A-2. La mayoría de vehículos que utilizan esta carretera lo hacen para acceder a la A-2, por tanto, es fácil hacerse una idea de lo transitado que está este cruce. Teniendo en cuenta la gran cantidad de accidentes hay cada año en esta zona, se debe hacer una modificación importante en las señalizaciones con el objetivo de reducir aún más la velocidad y así ganar ese tiempo extra de reacción que puede evitar más de un accidente.

En sentido Martorell, solo abandonar la urbanización hay una señal S-7 a 60 km/h junto a otra P-13b. Se sustituirá la señal S-7 por una R-301 con el objetivo de limitar la velocidad y así conseguir que los vehículos no se pongan a circular a 90 km/h antes de llegar al cruce. Se limitará la velocidad a 60 km/h y no a 50 km/h debido a que hay una buena visibilidad. A 50 metros de este grupo de señales encontramos una señal P-1 que advierte de la presencia de un cruce más adelante. Una vez pasado el cruce, se añadirá una señal R-301 a 60 km/h con el objetivo de recordar a los conductores que la velocidad sigue limitada.

En sentido Terrassa, no se modificarán las señales ya presentes debido a que se cree que exigen las condiciones de circulación correcta. El límite en este caso es a 50 km/h porque los vehículos que se incorporan a la carretera no tienen la distancia de visibilidad suficiente para poder reaccionar en caso de que aparezca un vehículo circulando a 60 km/h. Si que se modificará la ubicación de los dos grupos de señales que se encuentran antes del cruce. Se colocarán ambos grupos de señales 100 metros antes para que los conductores puedan avistar las señales con suficiente tiempo y no se las encuentren en mitad de la curva. Como después de la curva solo se tendrán 150 metros de recta hasta la rotonda de entrada a la urbanización, no hace falta que se coloque una señal que recuerde o que elimine la limitación de velocidad.



Figura 84. Señalización cruce del km. 1

En la urbanización donde se encuentra la parada de ferrocarriles y la de buses, se modificarán las dos señalizaciones R-301 a 60 km/h que se encuentran y se añadirán de nuevas que avisen de la presencia del paso de cebra que se colocará para que los usuarios del transporte público puedan cruzar de forma segura de un lado al otro. Por tanto, se sustituirán las señalizaciones R-301 a 60 km/h por unas a 50 km/h.

En sentido Martorell, 50 metros después de pasar la señal R-301 se colocará una señal P-20 que advierta de la presencia de peatones cruzando la calzada y antes de llegar al paso de cebra se colocará una señal del tipo S-13 que indique la presencia de un paso de cebra. Una vez se entre en la recta se colocará una señal R-301 a 70 km/h.

En sentido Terrassa se seguirá el mismo procedimiento que el anterior descrito, pero una vez superado el tramo de la urbanización no se quitará la limitación a 50 km/h debido a que el espacio con la señalización de antes del cruce con la A-2 es prácticamente nulo.

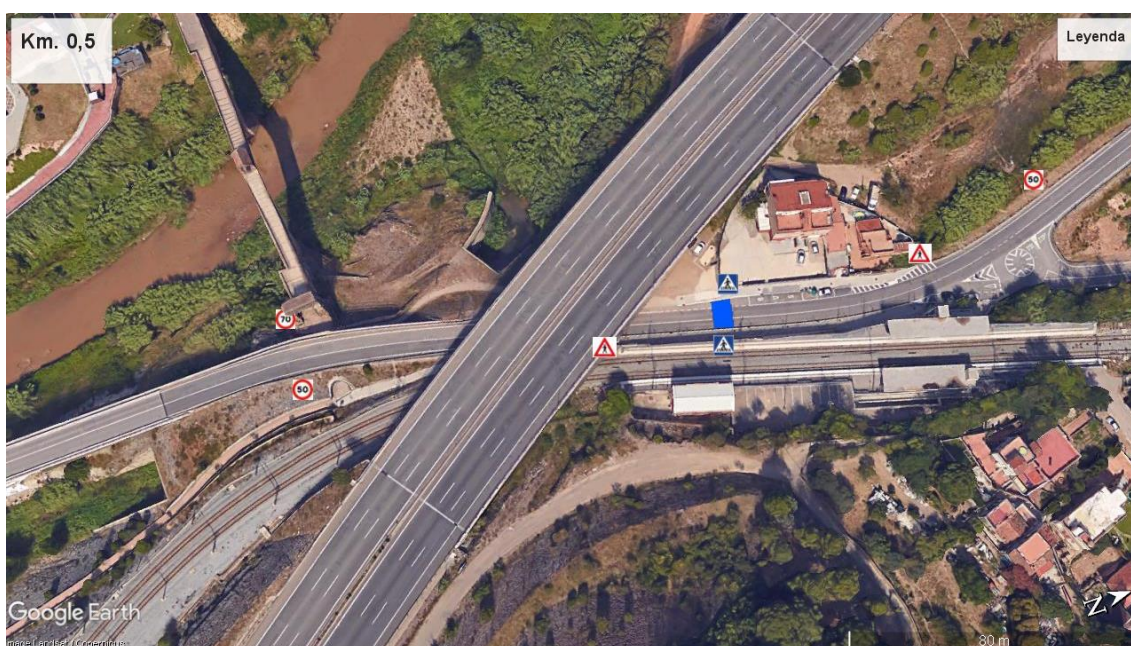


Figura 85. Señalización de la urbanización del km. 0,5

En los casos en que la reducción de velocidad vía señales verticales no surgiera efecto, se procedería al pintado de una zona cebrada para la separación de los dos carriles. Este tipo de solución muy reciente, pero se basa en el mismo principio que el de las isletas. Si se aumenta en anchura la línea continua central que separa los dos carriles, substituyéndola por la zona cebrada mencionada, la velocidad de los vehículos se ve reducida a consecuencia de que los conductores tienen la sensación de que circulan más rápido porque ven el carril más estrecho.

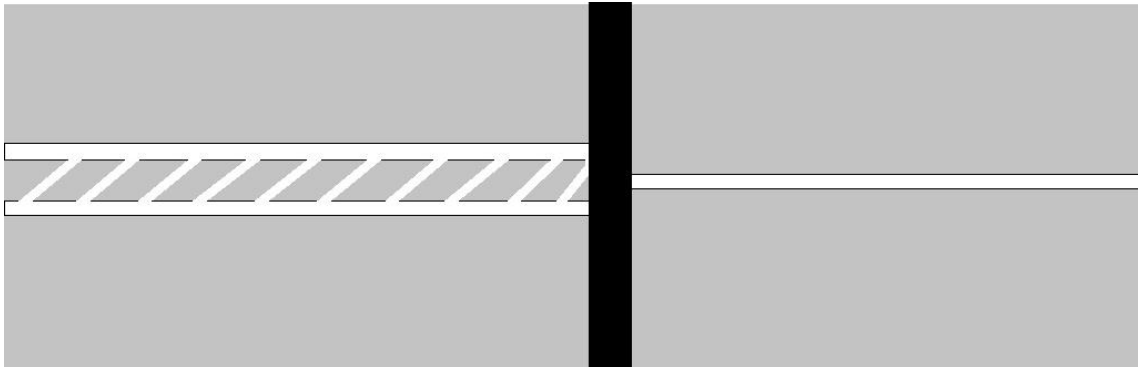


Figura 86. Diferencia entre señal horizontal cebrado y continua

Esta medida puede ir acompañada de balizamiento vertical reflectante colocado en el centro de esta. Este tipo de separación ya se puede ver implementada en algunos tramos de la BP-1417, lugar donde había una gran cantidad de conductas ilegales que provocaron la instalación de este dispositivo y así evitar que, en el caso de las motocicletas sobre todo, se invadiera el carril contrario en plena curva para realizar un adelantamiento.



Figura 87. Cebrado con balizamiento en BP-1417. Fuente: Google earth

Por último, añadir que la señal P-22 que avisa de la presencia de ciclistas en la carretera se deberá colocar después de cada cruce de la carretera, acompañada del cartel que recuerda la distancia de seguridad que hay que dejar con ellos una vez se realizar el adelantamiento. Esto se hace con el objetivo de recordar a todos los vehículos que acceden a la carretera que se pueden encontrar con una bicicleta en cualquier punto de la carretera y así provocar que circulen con más cuidado. Esta medida es de vital importancia y su aplicación no debe retrasarse ya que como se puede leer en el artículo [24], la presencia de ciclistas es cada año mayor y para conseguir que este mayor número de ciclistas se traduzca en más accidentes de ciclistas, se debe recordar aún más a los conductores de las condiciones de seguridad que deben mantener con ellos.

4.4. Soluciones a largo plazo

En este apartado se tratarán las soluciones que requieren de una inversión más grande, tanto a nivel de tiempo de construcción como a nivel monetario. Pero aún con esto en cuenta, son más que necesarias para conseguir nuestro objetivo de una carretera lo más segura posible.

Siguiendo el mismo orden del apartado de soluciones a corto plazo, se irá repasando los puntos donde se cree que con una gran remodelación se conseguirían una mejora mucho mayor que si se aplicarán pequeños parches y arreglos.

Como se ha repasado en el apartado anterior, uno de los grandes problemas que se ha encontrado y que se ha intentado arreglar de la mejor manera posible es el de los cruces. Si sustituyeran los cruces del km. 9,5 y del km. 1 por una rotonda, se conseguiría aumentar el límite de saturación de la carretera y esta ganaría en fluidez, lo que se traduciría en menos atascos y sobretodo en una menor probabilidad de accidente por alcance. Esto es debido a que en las rotondas las velocidades son mucho menores que las que puede haber en un cruce, lo que permite que las incorporaciones sean más seguras. En el km. 10 también se podría construir una rotonda pero en este caso no sería con el objetivo de regular de manera más eficaz el tráfico, sino que serviría para impedir que los vehículos excedieran el límite de velocidad. Como se vio en el análisis de velocidades que se llevó a cabo, en el punto de medición del km.10 la velocidad media de los vehículos estaba 10 km/h por encima de la velocidad límite de 50 km/h de la zona.

Hay varios tramos de la carretera que ya están reasfaltados, pero son pequeños parches que a la larga se acaban rompiendo o levantándose y provocando que la inversión que se ha hecho no sirva para nada. Entre el km.12 y el km. 10 hay un buen ejemplo, se reasfaltó la zona para tapar las grietas que habían aparecido con el paso del tiempo. La capa de reasfaltado era de apenas 1 cm en algunos tramos y como se colocó justo encima del antiguo asfalto, sin preparación previa, el resultado final es que se ha ido levantando, dejando pequeños boquetes que son aún más peligrosos que las antiguas grietas. Por otra parte, la zona más crítica es el tramo que hay entre el km.7,75 y el km.5, en este hay un gran número de grietas tapadas con betún de mala manera, otras sin tapar y también desniveles en el propio asfalto que acaban provocando golpes a los vehículos en mitad de la curva, lo que puede provocar que el vehículo se desestabilice y se salga de la carretera. Por tanto, en este tramo sería necesario un reasfaltado por completo con el objetivo de reducir la siniestralidad que en este tramo es bastante alta. Junto con el reasfaltado se deberían arreglar también las entradas de arena a los diferentes terrenos que hay a los lados de la carretera. Estas entradas provocan que con la lluvia, la tierra baje hasta la carretera y se quede en medio de esta, disminuyendo aún más la adherencia de los vehículos que pasan.

Por último, y conociendo la cantidad de sustos o accidentes que hay en el cruce del km.4 de la urbanización de Can Santeugini, añadir unos carriles de aceleración/desaceleración como los que se encuentran en el sentido contrario, minimizaría en gran número la cantidad de sustos o accidentes que tienen los conductores con la señal R-2 de stop que está situada en la zona central cebrada.

Hay que remarcar que el 24 de noviembre de 2009, con el acuerdo GOV/192/2009 por el cual se declaraba de urgencia la puesta en marcha del proyecto RB-08130.1, *“Ferm. Millora de característiques superficials i obres complementàries a la carretera C-243c, del PK 0+000 al PK 12+900. Tram: Martorell-Terrassa”*. En este documento ya se hacía referencia a las grietas que presentaba el asfalto en algunas zonas, sobre todo en las partes externas de los carriles, y que podían provocar daños y riegos a los usuarios de la vía. También se hacía referencia al mal drenaje de la carretera, y al mal estado de algunos accesos a urbanizaciones y de las barreras de seguridad. Con la obra que se proyectaba se pretendía hacer frente a estos problemas mediante un reasfaltado pero también se accedía a reacondicionar las señales verticales y horizontales, como también se mencionaba la necesidad de mejorar diversos cruces para aumentar la seguridad de los usuarios de la vía. En este acuerdo se le daba el carácter de urgencia a este proyecto debido a que en caso de no actuar, como podemos leer en el documento, *“la demora en la seva solució podria comportar un augment de la sinistralitat viària.”*

5. Estudio de una vía urbana

Para el estudio de una vía urbana se ha decidido centrarse en el principal problema de las vías urbanas, el de los badenes. Como se ha mencionado anteriormente, la gran mayoría de badenes que se encuentran en la carretera son ilegales, incluso los que a simple vista parecen cumplir normativa no han sido contruidos respetando las dimensiones permitidas. A parte de los badenes también se estudiará la seguridad de los peatones y de las bicicletas, tema más que importante en una vía urbana.

Para nuestro estudio se ha elegido un tramo muy transitado por peatones, bicicletas y vehículos de toda clase. El tramo en cuestión es el que recorre la avenida de Argentina y conecta con avenida España hasta su cruce con avenida de Roma, en la población de Cerdanyola del Vallès. En este tramo de 1km se encuentran un gran número de badenes y errores de señalización que hacen que esta carretera sea más peligrosa de lo que debería ser.

5.1. Análisis del tramo

El recorrido se iniciará desde el cruce de avenida España con avenida Roma y finalizará en el nacimiento de avenida de Argentina. Justo después del cruce aparece el primer badén ilegal, en este caso sí que está señalizado por una señal del tipo P-15a que indica la presencia de un resalto en la vía junto a una señal del tipo S-30, como se ve en la Figura 88, que indica que se entra en una zona de circulación destinada principalmente a los peatones, por tanto, donde ellos tienen prioridad y la velocidad máxima es de 30 km/h.



Figura 88. Señalización inicio tramo urbano con badén.



Figura 89. Badenes ilegales después del cruce entre avenida España y avenida Roma

Una vez superado el primer badén, se acerca un paso de peatones con su respectiva señalización del tipo S-13 que indica la presencia de este. Aquí encontramos otro fallo, si leemos el apartado 7.10.2 de la norma 8.1-I.C [19] que hace referencia a los pasos de peatones en vías donde estos tienen prioridad, dice que para disponer de un paso de peatones con prioridad en una zona donde el aparcamiento está permitido, este se prohibirá desde por lo menos 10m antes del paso de cebrá en el sentido de la marcha para asegurarse de que los conductores tienen una buena visibilidad. También dice que la señal S-13 deberá colocarse entre 0,5m y 1m antes de la marca vial transversal M-4.3, como podemos ver en documento [20], siendo esta señal visible desde al menos 30m antes.



Figura 90. Paso de peatones al final de Av. España. Fuente: Google earth

Una vez superado el paso de peatones vuelve a aparecer un badén como el primero del recorrido. En este caso, no hay señalización de ningún tipo que avise de la presencia de este badén. Si a esto se le añade que la pintura que se utiliza para estos no es reflectante, puede provocar que por la noche más de un conductor pueda tener un susto o incluso si se trata de una motorista, puede provocar que tenga un accidente y se caiga de esta. De igual manera, en el paso de peatones después del bache no se encuentra ninguna señalización que nos advierta de la presencia de este.

A la que se abandona avenida España para entrar en avenida de Argentina, vuelven a recordar con una señalización S-30 que se trata de un tramo con prioridad para los peatones y que la velocidad máxima es de 30 km/h. Junto a esta se encuentra otra del tipo P-22 que indica la presencia de ciclistas en la calzada. Se encuentra esta señal ahora y no antes debido a que en avenida España si que se dispone de un carril bici por el que pueden circular los ciclistas con toda seguridad, pero una vez se llega a la avenida de Argentina este carril finaliza y los ciclistas deben utilizar la misma calzada que los vehículos. En el suelo también se encuentra el dibujo de una bicicleta junto a una flecha que indica la presencia de estas más adelante. Pero se encuentra otro fallo, en ningún lado hay la señal S-13 para alertar de la presencia de un paso de cebra.



Figura 91. Señal de ciclistas pintada en el suelo.

50 metros más adelante vuelve a aparecer otro badén ilegal, uno para cada sentido de la circulación. En este caso son más largos que los vistos anteriormente y presentan un mayor número de marcas debido al golpe de los vehículos que pasan por encima. A diferencia de los últimos, estos sí que se encuentran señalizados mediante una señal tipo P-15a. En la Figura 91 podemos apreciar como de peligrosos son este tipo de badenes, ya no solo porque no cumplan las dimensiones permitidas, sino que a causa del gran número de golpes se desmontan y dejan partes móviles o grandes socavones en medio de la calzada



Figura 92. Badén ilegal en malas condiciones

Una vez se llega a la altura de plaza Universal, 100m más adelante que el badén que se ha mencionado anteriormente, hay un paso de peatones elevado que a primera vista sí que parece que cumple las dimensiones legales. Como se observa en la figura 93, antes de llegar a este hay una señal que avisa de que se aproxima un paso de peatones elevado y que la velocidad máxima sigue siendo de 30 km/h.



Figura 93. Señal de aviso por resalto con límite de velocidad

Por tanto, si se tiene en cuenta que la velocidad de paso es de 30 km/h, las dimensiones según el documento [21] de un paso peatonal sobreelevado o reductor trapezoidal deberían ser las siguientes:

- Altura: $10\text{cm} \pm 1\text{cm}$.
- Longitud de la zona elevada: $4\text{m} \pm 0,2\text{m}$. Solo en casos excepcionales se permitirá que la longitud sea inferior, hasta un mínimo de 2,5m.
- Longitud de las rampas: 1m debido a que se trata de una zona de velocidad limitada a 30 km/h.
- Borde de entrada: $<5\text{mm}$.

También añade que en las zonas donde haya una elevada cantidad de autobuses se estudiará la implantación de pasos sobreelevados combinados, que consisten en pasos sobreelevados con pendientes distintas para vehículos ligeros y pesados.

En cambio, las dimensiones del paso sobreelevado de la avenida de Argentina son:

- Altura: 13,5cm.
- Longitud de la zona elevada: 4,5m.
- Longitud de las rampas: 1,5m.
- Borde de entrada: 0 mm.

Únicamente se cumplía el requisito del borde de entrada, que en este caso era prácticamente nulo gracias a que se asfaltó el paso sobreelevado juntamente con la calzada. Sí que es verdad que el hecho de que la longitud de las rampas sea superior al de la normativa es con el objetivo de no ser tan molesto para los autobuses que pasan por esa zona. Pero hay que tener en cuenta que lo que más molesta al fin y al cabo es la altura total del paso sobreelevado, y la única razón por la que no se cumple es el ahorro de costes. Cuando se construyen se iguala su altura con la de la acera y de esta manera ahorrarse la remodelación de esta última, ya que como se puede ver en el apartado 3.3.4 Conexión con acera del documento [21], se lee textualmente “En el caso del paso peatonal sobreelevado, si la acera tuviere una altura superior a 10 cm, y con objeto de facilitar los desplazamientos de personas con movilidad reducida, se procederá a rebajarla en toda la longitud del paso para permitir la continuidad del itinerario peatonal. Esta adecuación de la acera se llevará a cabo con los criterios de diseño precisos y reglamentados, evitando que el desnivel entre la acera y el reductor de velocidad trapezoidal sea superior a 1 cm”.

Una vez sobrepasada plaza Universal, hay un paso de peatones bien señalizado con la señal S-13 a 1 metro de este. En este caso va acompañada de una señal P-22 que vuelve a recordar la presencia de ciclistas en la calzada. Cuando se llega al cruce con calle de Levante, se encuentran dos pasos de peatones bien señalizados con la señal S-13. Pero después de esto vuelve a aparecer otro tipo de badén que incumple la normativa.



Figura 94. Vista después de cruce en Av. Argentina

Y en el que, como se observa en la Figura 94, no se puede ver la señalización P-15a que advierte de la presencia de un resalto en la carretera. El árbol también tapa la señalización R-301 que recuerda que velocidad sigue limitada a 30 km/h.

Apenas 100 m más adelante, vuelven a aparecer más badenes ilegales. En este caso como los primeros en el inicio de la avenida Argentina. Estos presentaban una mayor cantidad de marcas que los primeros, sin embargo este sí que estaba señalizado con la señal S-15a a diferencia del otro. Al pasar este badén, llegamos al Stop del cruce con la calle de Londres, en el que tampoco se encuentra la presencia de ninguna señal S-13 ni de una correcta iluminación que señale la presencia del paso de peatones. Una vez sobrepasado el cruce, vuelve a recordar la presencia de ciclistas en la calzada mediante una señal P-22.

Llegando al final de la calle se encuentra otra señal P-15a seguida de otro badén ilegal. En este caso, el estado del badén era el peor con diferencia. Presentaba una gran cantidad de piezas que no estaban correctamente sujetas a causa de la falta de tornillería que con el tiempo había saltado. Incluso, en un lateral del badén se avistaba un tornillo de sujeción suelto que podría provocar un pinchazo perfectamente. El hecho de que estos badenes, aparte de ilegales, se encuentren en tan malas condiciones tira por el suelo todo el trabajo que se hace para mejorar la seguridad de la calle.



Figura 95. Badén con tornillería de sujeción a su alrededor

Recorriendo la calle en sentido contrario, se encuentran más fallos a nivel de visibilidad de las señales. Tanto a nivel de señales que advierten de la presencia de los peatones, como de recordatorio de velocidad. Al iniciar la avenida, la señal S-30 que indica que se trata de una zona a 30 km/h con prioridad para los peatones junto a la P-22 que alerta de la presencia de ciclistas están puestas en muy mal sitio, haciéndose imposible que los conductores la puedan ver con claridad. Teniendo en cuenta que la siguiente señal R-301 que hace referencia a la velocidad se encuentra una vez se han recorrido 400 m de un tramo que hace 1 km en total, se debería posicionar de mejor manera para asegurarse que todos los conductores son capaces de entender el mensaje. En las Figuras 96, 97 y 98 se puede ver un ejemplo de señalización S-13 que no presenta la visibilidad adecuada a 30m y, por tanto, debería estar colocada a 150m para asegurarse que los conductores la ven.



Figura 96. Vista a 100 m del cruce en Av. Argentina



Figura 97. Vista a 50 m del cruce en Av. Argentina



Figura 98. Vista a 10 m del cruce en Av. Argentina

Por último, remarcar que en ningún paso de peatones de todo el tramo se respeta la distancia de 10m que prohíbe estacionar para ayudar a los conductores. Igual que tampoco hay una gran iluminación que ayude a visualizar desde mayor distancia a peatones o ciclistas. Teniendo en cuenta que se trata de un tramo muy concurrido debido a que hace de conexión entre la universidad autónoma de Barcelona y el instituto Jaume Miró con el centro de la ciudad, la seguridad hacia los peatones y ciclistas debería ser mucho mayor que en otras zonas donde no hay tanta intensidad de personas.

5.2. Análisis de los badenes

El primer tipo de badén que se encuentra en nuestro recorrido por el tramo urbano tiene las siguientes dimensiones:

- Altura: 8,5cm.
- Longitud: 1,7m.
- Longitud de las rampas: 40cm.
- Borde de entrada: 3cm.
- Ancho: 1,7m.



Figura 99. Primer tipo de badén prefabricado en tramo urbano

El segundo tipo de badén que se encuentra presenta un perfil circular y tiene las dimensiones siguientes:

- Altura máxima: 9cm.
- Longitud: 20cm.
- Borde de entrada: 2cm.
- Ancho: 3,40m.



Figura 100. Segundo tipo de badén en tramo urbano

El tercero es una variante del primero que se ha comentado, pero este está formado por más paneles en su parte intermedia. Sus dimensiones son:

- Altura: 8,5cm.
- Longitud: 3,4m.
- Longitud de las rampas: 40cm.
- Borde de entrada: 3cm.
- Ancho: 1,7m.



Figura 101. Tercer tipo de badén prefabricado en tramo urbano

Se podría decir que la gran mayoría de badenes que se encuentran en cualquier ciudad de España están resumidos en estas tres fotografías. Es un tema que se ha comentado mucho a lo largo de este estudio, pero viendo la situación actual de las carreteras, se debe hacer todo el énfasis que se pueda.

Si se vuelve a mirar el documento [21], se puede ver como se hace referencia a un reductor prefabricado. Estos reductores prefabricados, según la norma, están formados por diferentes módulos que se encajan y se enganchan al pavimento mediante tornillería o adhesivos químicos. Para un tramo limitado a una velocidad menor de 50 km/h, estos dispositivos podrán tener las dimensiones siguientes:

- Longitud: Entre 60 y 120cm.
- Altura: Entre 5 y 7cm.

Por tanto, ninguno de los dispositivos anteriormente mencionados cumple con la normativa. Si a eso se le añade que en muchos casos tampoco van acompañados de la señalización adecuada, se pueden convertir en dispositivos muy peligrosos para los usuarios de la vía.

La existencia de los dos primeros tipos es para intentar reducir la velocidad de los vehículos privados y no afectar a los vehículos grandes como autobuses o camiones de la basura, debido a que estos son más anchos. Eso sería cierto en la práctica si los badenes estuvieran bien colocados pero como el tramo en cuestión es estrecho y se permite el estacionamiento de los vehículos, los badenes acaban colocados muy pegados a estos y se hace imposible para los autobuses pasar por ellos de tal manera que no les afecte. También se debería suponer que debido a que los badenes tienen como función asegurarse que se circula respetando el límite de velocidad, superarlos a esta velocidad no debería causar grandes molestias dentro del habitáculo ni al propio vehículo. Pero la verdad es que superar este tipo de badenes a la velocidad de la vía crea grandes molestias dentro del habitáculo y puede incluso provocar averías en el propio vehículo. Circulando por esta carretera, se ha llegado a la conclusión de que la velocidad a la que se puede superar el badén, sin poner en un aprieto la comodidad dentro del habitáculo, es de 10 km/h. Esto significa que para poder circular cómodamente se debe mantener una velocidad equivalente a $1/3$ de la velocidad máxima de vía, 5 km/h por debajo de la velocidad mínima de la vía.

En el caso de los pasos de peatones sobreelevados, un fallo muy común es la falta de mantenimiento. Esta clase de badenes tienen marcas viales que son muy importantes para el conductor, ya que permiten avistar el resalto con mayor claridad y tener una pequeña referencia de la pendiente que tiene.



Figura 102. Pintura desgastada en paso peatonal sobreelevado en Av. Argentina

En la Figura 102 se observa como esta pintura a medida que pasa el tiempo, va perdiendo claridad y también pierde su capacidad antideslizante. Si a estos factores, se añade el de la baja iluminación, el resalto se puede convertir en un peligro en condiciones de baja adherencia y/o visibilidad. Con un mantenimiento más frecuente, se conseguiría que esta clase de resaltos fueran más efectivos y también más seguros tanto para peatones como para vehículos. Hay que tener en cuenta que una pintura antideslizante en buenas condiciones, puede evitar que en una frenada de emergencia el coche deslice en exceso. Y de esta manera, evitar el atropello.

5.3. Soluciones a corto plazo

Las soluciones a corto plazo deben centrarse en tres aspectos diferentes, la señalización, la iluminación y los badenes. Estos son los diferentes aspectos que tienen una rápida implantación y no requieren de una gran inversión.

Se debería comenzar por asegurarse de que todas las señales tienen una muy buena visibilidad. En el caso que la visibilidad de estas se reduzca por culpa del crecimiento de los árboles, se colocaran antes que estos para evitar tener que están podando con mucha frecuencia. También se debería prohibir el estacionamiento, en el sentido de la marcha, 10 m antes de llegar a un paso de peatones. De esta manera se conseguiría mejorar la visibilidad de los conductores notablemente y así dar más seguridad a los peatones, que no tendrían que asomarse a la carretera sin saber si viene un vehículo o no. Por último, se deberían señalizar los badenes de forma correcta y siguiendo la norma.

Otro tipo de solución que cada vez se utiliza con más frecuencia es la de limitar la velocidad máxima a 20 km/h, en aquellas zonas donde hay un gran tráfico de personas y no se consigue reducir la velocidad de los vehículos a partir de los badenes. Este tipo de restricciones se aplican sobre todo en zonas cercanas a colegios, donde la visibilidad no es buena y hay una alta probabilidad de que un niño cruce la carretera de sorpresa. En el tramo urbano sujeto a estudio, se podría aplicar la limitación de velocidad en la parte final del tramo, en la avenida España, donde se encuentra un colegio. Pero debido a que a la misma altura hay un semáforo que regula el cruce entre avenida España y avenida Roma, y a que la salida principal del colegio no se encuentra en esta zona, la medida no sería necesaria ya que los vehículos cuando llegan a esa zona, llegan a una velocidad baja a causa del semáforo y de los dos badenes que encontramos escasos metros antes. La Figura 103 muestra lo que vería el conductor a 100 metros del semáforo, cuando circula paralelo al colegio.



Figura 103. Vista del conductor al final del tramo urbano

La iluminación es también un aspecto muy importante, sobre todo la que se encarga de iluminar los pasos de cebra. Se debería tener un control periódico del alumbrado de las calles y instalar bombillas de mayor alumbrado en los pasos de cebra, como dice la norma. De esta manera la seguridad de los peatones será la misma a cualquier hora del día.

Y por último, hacer caso de una vez por todas a la normativa de badenes [21]. Como en este apartado se tratan las soluciones a corto plazo, se empezaría por retirar todos aquellos badenes que no cumplen con la normativa. Una vez retirados, y con el objetivo de asegurarse que los conductores siguen circulando a la velocidad adecuada, se podrían instalar resaltos prefabricados que cumplan con las dimensiones legales. De esta manera se tendría un dispositivo de control de velocidad hasta el momento en que se realice el proyecto de reacondicionamiento de la calle y se instalen los resaltos tipo paso de peatones sobreelevado o “lomo de asno”.

5.4. Soluciones a largo plazo

La solución a largo plazo para el tema de los badenes es sencilla. Si se tienen en cuenta las características del tramo sujeto a estudio donde la distancia aproximada entre cruces es de unos 150 m, se puede colocar un paso de peatones sobreelevado en cada paso de peatones de los cruces sin incumplir la norma. E incluso, si esto no resultara suficiente para reducir la velocidad de los vehículos, se colocarían resaltos tipo “lomo de asno” entre estos pasos de peatones sobreelevados. Sobre todo siempre respetando la distancia mínima entre ellos de 50 m. A continuación se puede ver un ejemplo en una de las calles del tramo. En este caso se eliminaría el badén ilegal prefabricado, se construiría un resalto tipo paso de peatones sobreelevado al principio de la calle (derecha) y se reacondicionaría el segundo (izquierda) con el objetivo de que cumpla normativa. Y como hemos dicho anteriormente, en caso de necesidad se construiría un resalto tipo lomo de asno para asegurarse aún más de que los conductores cumplen la normativa.



Leyenda

- Paso de peatones sobreelevado
- Lomo de asno
- Badén ilegal prefabricado

Figura 104. Vista aérea de badenes al inicio de Av. Argentina

Otra opción sería la de utilizar los semáforos para controlar la velocidad de circulación de los vehículos. Este tipo de semáforos están conectados a un radar que mide la velocidad de los vehículos y en función del valor que detecte, el semáforo permanece en verde o se pone en rojo. Estos semáforos se suelen utilizar en entradas de travesías en las que los vehículos llegan a velocidades muy superiores a los 50 km/h. Instalar este tipo de semáforos en entornos urbanos ayudaría a regular la velocidad de los vehículos y de esta manera no sería necesario instalar pasos de cebra sobreelevados en cada paso de cebra, ya que se podría compaginar entre estos y los semáforos.

Pero no se debe olvidar que el camino a seguir en los entornos urbanos es que cada vez sean entornos más destinados a la movilidad de las personas y no tanto a la de los vehículos. Un claro ejemplo de esto es el Plan de Movilidad Urbana Sostenible (PMUS) 2015-2030 de Bilbao, como se puede leer en el artículo [22]. Un plan de movilidad que lleva casi 3 años siendo elaborado juntamente miles de habitantes de Bilbao. La medida que llama más la atención, teniendo en cuenta el tamaño de la ciudad, es que a partir del 30 de junio del 2018 se reducirá la velocidad máxima a 30 km/h en un 87% de las calles de la ciudad. Con esto lo que se pretende es dificultar la circulación a los vehículos particulares y potenciar que los ciudadanos caminen, vayan en bici o utilicen el transporte público. Pero el PMUS no solo se centra en esto, también tiene en cuenta un tema que cada día nos afecta más, el de la calidad del aire. A partir de potenciar otros planes en paralelo como el de la electrificación de la movilidad y un plan ciclable, se pretende rebajar un 41% las emisiones para cuando el PMUS finalice, en el 2030. Bilbao es la primera de muchas grandes ciudades que empiezan a implantar planes de este tipo, pero lo que está claro es que las demás no tardarán en presentar planes de movilidad parecidos. Planes donde incluso el vehículo eléctrico privado no tendrá cabida, puesto que lo que también se busca con estos planes es descongestionar la ciudad para que los desplazamientos sean más rápidos y directos, sin tener que sufrir los tan comunes atascos.

Por tanto, si lo que se busca es que las inversiones sean lo más duraderas en el tiempo posibles, el camino a seguir es instalar más carriles bicis y zonas peatonales. Potenciando también el transporte público, a partir de poner autobuses con mayor frecuencia por ejemplo o instalando carriles dedicados exclusivamente a los autobuses, se conseguirá que la gente deje de utilizar el vehículo propio diariamente y únicamente lo utilice para las salidas los fines de semana.

6. Impacto medioambiental

Se diferenciara entre el impacto medioambiental del propio estudio y el impacto medioambiental de las soluciones que se aplicarán en los tramos sujetos a estudio.

6.1. Impacto medioambiental de las soluciones.

Mediante el estudio de las carreteras, se ha conseguido entender el funcionamiento de estas. Conociendo su funcionamiento no se ha conseguido únicamente mejorar su seguridad, sino que también se ha conseguido mejorar su funcionamiento para que no se colapse en el caso de la vía interurbana y se ha conseguido reducir la velocidad y potenciar el uso del transporte público y la bicicleta en la urbana.

Al conseguir que los vehículos no se detengan con tanta frecuencia y provocar que estos circulen más fluidos y a velocidades más constantes, se ha disminuido el nivel de emisiones que estos emiten a la atmósfera. Esto es debido a que al circular a velocidades constantes, el motor de combustión trabaja más eficientemente y no se le exige tanta carga de trabajo como para que emita la misma cantidad de emisiones contaminantes. A velocidades más constantes y con los cursos de conducción, los conductores no tienen necesidad de utilizar los frenos y simplemente con el freno motor pueden mantener la distancia con el vehículo de delante en las bajadas. Incluso en el caso de utilizar el freno, al llevar velocidades más reducidas y acorde con las características del tramo por el que circula, su uso no es tan exigente como en la actualidad y no se emiten tantas partículas de freno. Unas partículas que están consideradas más nocivas que el CO₂.

A nivel urbano, se ha rebajado la velocidad de los vehículos mediante la instalación de badenes que si que se pueden sobrepasar a la velocidad indicada, consiguiendo también que la velocidad de estos sea más constante que en la actualidad. También gracias a que se potencia que le ciudadano camine o utilice el transporte público o la bicicleta, se rebaja el nivel de vehículos en circulación, rebajándose en gran nivel la cantidad de CO₂ emitido y mejorando la calidad del aire que se respira.

6.2. Impacto medioambiental del estudio.

En el impacto medioambiental se tendrá en cuenta toda la energía consumida para realizar este trabajo, con la cantidad de CO₂ emitida relacionada a esta energía invertida. La gran parte de este trabajo se ha realizado en ordenador, pero también hemos realizado un trabajo de campo para estudiar la vía urbana y la interurbana. También se tendrá en cuenta los desplazamientos hasta la universidad para hablar con el tutor del trabajo.

En el caso del ordenador, se ha pasado un total de 290 horas trabajando. El ordenador consume una potencia media de 300 W, eso significa que se ha consumido un total de 87 kWh. Teniendo en cuenta que el CO₂ equivalente del consumo eléctrico es de 0,385 kg de CO₂ por kWh, eso nos da un total de 33,495 kg de CO₂ equivalente.

$$87 \text{ kWh} \cdot 0,385 \frac{\text{kg de CO}_2}{\text{kWh}} = 33,495 \text{ kg de CO}_2$$

Para el estudio de la carretera interurbana, utilizamos una furgoneta modelo Nissan Evalia con un motor diésel. El consumo medio de la furgoneta es de 7 l/100 km, con unas emisiones de CO₂ según fabricante de 144 g/km. El recorrido consistió en ir desde el parking de la ESEIAAT hasta la C-243c. Se recorrió la carretera entera dos veces con pequeñas paradas para realizar las mediciones, y luego se volvió al punto de inicio. Este trayecto hace un total de 33,8 km, por tanto, se emitió una cantidad de 4,88 kg de CO₂ y se consumió un total de 2,37 l de diésel. Un litro de diésel equivale a un total de 10,6 kWh, y cada kWh de diésel equivale a 0,2628 kg de CO₂ equivalente.

$$2,37 \text{ l} \cdot 10,6 \frac{\text{kWh}}{\text{l}} = 25,122 \text{ kWh}$$

$$25,122 \text{ kWh} \cdot 0,2628 \frac{\text{kg de CO}_2}{\text{kWh}} = 6,6 \text{ kg de CO}_2$$

El estudio de la carretera urbana se realizó andando, igual que el desplazamiento hasta ella. Así que, el impacto medioambiental del estudio de la carretera urbana fue nulo.

Por último, se realizaron tres desplazamientos para visitar al tutor del estudio. El trayecto se realizó desde la población de Cerdanyola del Vallès hasta el parking para estudiantes de la ESEIAAT, un trayecto de 15,7 km. El trayecto entre el parking y la universidad se hacía andando. El vehículo utilizado para el desplazamiento era un Renault Clio con motor diesel. Este vehículo tiene un consumo medio de 5,5 l/100 km y emite un total de 115 g/km. La distancia total recorrida en coche fue de 94,2 km. Se emitieron un total de 10,83 kg de CO₂ y se consumió un total de 5,18 l de diesel.

$$5,18 \text{ l} \cdot 10,6 \frac{\text{kWh}}{\text{l}} = 54,908 \text{ kWh}$$

$$54,908 \text{ kWh} \cdot 0,2628 \frac{\text{kg de CO}_2}{\text{kWh}} = 14,43 \text{ kg de CO}_2$$

En conclusión, la realización del estudio supuso un impacto ambiental en kg de CO₂ equivalente de:

$$33,495 + 4,88 + 6,6 + 10,83 + 14,43 = 70,235 \text{ kg de CO}_2$$

7. Presupuesto

En el presupuesto del estudio se debe tener en cuenta todo el tiempo necesario para llevarlo a cabo como todos los gastos materiales a los que se ha tenido que hacer frente para llegar al resultado final. A continuación, tenemos el desglose de todos estos gastos:

Concepto		Coste (€)
Tiempo dedicado en horas		
Consulta de la información	25	
Estudio de la normativa	35	
Estudio de los accidentes	25	
Trabajo de campo	10	
Análisis mediciones de velocidad	15	
Análisis de fallos en la carretera interurbana	20	
Propuesta de soluciones carretera interurbana	25	
Análisis de los fallos en la carretera urbana	10	
Análisis de los badenes	15	
Propuesta de soluciones carretera urbana	15	
Cálculo del impacto medioambiental	5	
Redacción de la memoria	100	
Total (h)	300	
Coste horario (€/h)	15	
		4500
Coste electricidad		38,74
Ordenador		700
Diesel		9,82
Coste total (€)		5248,56

Tabla 13. Presupuesto del estudio

En este presupuesto solo se tiene en cuenta el gasto necesario para llevar a cabo el estudio presentado anteriormente. No se ha considerado el presupuesto necesario para aplicar las soluciones presentadas ya que no entraba dentro del alcance de este proyecto.

8. Conclusiones

En este estudio se ha podido comprobar de primera mano que el estado de las carreteras es peor del que a simple vista puede parecer. Una vez adquiridos los conocimientos de la primera parte del trabajo en el que se repasa el estado del arte de los sistemas de control de velocidad, no se esperaba llegar a la carretera y encontrar la cantidad de fallos que se encontraron. Las dos carreteras escogidas no es que se encontraran en unas condiciones mucho peores que las demás carreteras, por tanto, una de las primeras conclusiones que se puede sacar de este trabajo es que el conjunto de carreteras necesita una supervisión y un control mucho más frecuente que el que hay ahora. También es necesaria una mayor rapidez a la hora de iniciar proyectos de reacondicionamiento de carreteras, ya que como se ha podido ver en el caso de la carretera interurbana, se aprobó un plan de reacondicionamiento en 2009 de toda la carretera titularidad de la Generalitat con categoría urgente y a día de hoy, 8 de junio de 2018, no se ha realizado ese reacondicionamiento y se siguen encontrando tramos en muy mal estado. En el caso de las carreteras urbanas, la problemática de los badenes debe ser atacada de una vez por todas. La carretera de estudio, es una pequeña muestra de la cantidad de badenes que se pueden encontrar y que no cumplen normativa.

Las soluciones a corto plazo de las dos vías de estudio son las mejores soluciones que se pueden aplicar para conseguir un resultado satisfactorio. Pero como se ha dicho, son soluciones que solo aplazarán los problemas que actualmente hay, como los accidentes o la saturación. Para conseguir que las carreteras sean seguras durante un amplio periodo de tiempo, se tendrá que invertir una cantidad de dinero y tiempo elevada para aplicar las soluciones a largo plazo. Pero es la única manera de conseguir que la seguridad y el nivel de satisfacción de sus usuarios asciendan y se mantengan en ese nivel un largo periodo de tiempo.

9. Planificación siguiente fase

Los pasos siguientes para continuar este estudio sería empezar el cálculo de los costes de aplicación de las soluciones encontradas en este estudio. También, y con el objetivo de conseguir unos resultados más precisos, realizar mediciones del comportamiento de los vehículos que circulan por la carretera interurbana estudiada durante un año entero. De esta manera, se conseguiría que las soluciones fueran más eficaces ya que se conocería el comportamiento exacto de la carretera a lo largo de todo el año.

A nivel urbano, extender el tramo estudiado y realizar una reforma a lo largo de todo el recorrido. También, y como en el caso anterior, realizando mediciones durante un largo periodo para poder encontrar la solución más duradera y la más efectiva.

En conclusión, los pasos siguientes para las vías de estudio que se tratan en este trabajo serían calcular los costes de las soluciones a corto plazo para poder presentar los proyectos de reforma a los diferentes órganos titulares de la carretera. Después realizar mediciones durante todo un año para conocer el comportamiento exacto del tráfico y así poder proponer soluciones que si resuelvan los problemas encontrados por un largo periodo de tiempo.

10. Bibliografía

- [1] Servei Català de Trànsit. (2001). *La reconstrucció de l'accident de trànsit* (2nd ed.). [Barcelona].
- [2] Rivero, M., & Fernández, M. (2018). El móvil puede avisar de la velocidad segura. *Tráfico Y Seguridad Vial*, (244), 16-17. Extraído de <http://www.dgt.es/revista/num244/mobile/index.html#p=1>
- [3] Postura correcta al volante, clave para una conducción segura | RACE. (2018). Extraído de <https://www.race.es/seguridadvial/formacion-race/en-carretera/posicion-correcta-volante>
- [4] Curso Conducción Segura para dos (Castellolí, Barcelona). (2018). Extraído de: <https://www.aladinia.com/curso-conduccion-segura-castelloli#>
- [5] BOE.es - Código de Tráfico y Seguridad Vial. (2018). Extraído de: <https://www.boe.es/legislacion/codigos/codigo.php?id=20&modo=1¬a=0&tab=2>
- [6] Fidalgo, R. (2018). Quién inventó los radares de velocidad. Extraído de: <https://www.autocasion.com/actualidad/reportajes/quien-invento-los-radares-de-velocidad>
- [7] Speed bump. (2018). Extraído de: https://en.wikipedia.org/wiki/Speed_bump#History
- [8] Tipos de radares. ¿Cuáles son y dónde están?. (2018). Extraído de: <https://www.cea-online.es/blog/28-tipos-de-radares>
- [9] TODORADARES - Radares y detectores de radar. (2018). Extraído de <https://www.todoradares.com/>
- [10] Los 5 nuevos súper-radares que la DGT quiere traer a las carreteras españolas. (2018). Extraído de: https://www.lespanol.com/motor/coches/20170616/224227777_0.html
- [11] Movivo. (2018). *Vivadén. El primer badén inteligente operativo* [Ebook]. Alcobendas, Madrid. Extraído de: <https://movivo.es/docs/triptico-a4-traffic-2015.pdf>

[12] | Repair Guides | Cruise Control | General Information | AutoZone.com. (2018). Extraído de: https://www.autozone.com/repairguides/Chrysler-Front-Wheel-Drive-Cars-6-CYL-1988-1995-Repair-Information/CRUISE-CONTROL/General-Information/_/P-0900c15280268739

[13] Control de velocidad. (2018). Extraído de: https://es.wikipedia.org/wiki/Control_de_velocidad

[14] Team, W. (2018). Toyota Safety Sense, la tecnología que busca una carretera más segura. Extraído de: <https://www.motorpasion.com/espaciotoyota/toyota-safety-sense-la-tecnologia-que-busca-una-carretera-mas-segura>

[15] Reyes, L., Castillo, L., & Pérez, G. (2018). Los odiados reductores de velocidad siguen sin cumplir la normativa. Extraído de: <https://www.autonocion.com/los-odiados-reductores-de-velocidad-siguen-sin-cumplir-la-normativa/>

[16] SEÑALIZACIÓN Y BALIZAMIENTO DE CURVAS. (2018). Extraído de: http://www.carreteros.org/normativa/s_vertical/8_1ic_2014/apartados/8.htm
Soler, À. (2018).

[17] Todo lo que debes saber sobre el Head-Up-Display. Extraído de: <https://www.elperiodico.com/es/motor/noticias/trending/head-up-display-que-es-como-funciona-6585510>

[18] Ministerio de fomento. (2018). *Boletín Oficial del Estado* [Ebook] (83rd ed., pp. 29150-29225). Extraído de: <https://www.boe.es/boe/dias/2014/04/05/pdfs/BOE-A-2014-3654.pdf>

[19] Ministerio de fomento. (2018). *Boletín Oficial del Estado* [Ebook] (83rd ed., pp. 29242-29295). Extraído de: <https://www.boe.es/boe/dias/2014/04/05/pdfs/BOE-A-2014-3654.pdf>

[20] MOPU. (1987). *Norma de carreteras 8.2-IC Marcas Viales* [Ebook] (pp. 37-40). Extraído de: <https://www.fomento.gob.es/NR/rdonlyres/56B5B61F-EEFA-4CB9-B050-CAA5E2172FDD/55741/1120100.pdf>

[21] Ministerio de Fomento. (2008). *Instrucción técnica para la instalación de reductores de velocidad y bandas transversales de alerta en carreteras de la Red de Carreteras del Estado* [Ebook]. Extraído de:

<https://www.fomento.gob.es/NR/rdonlyres/180E9859-01CD-45A2-92CB-B5B4D1137624/81033/1160101.pdf>

[22] Guerrero, B., & Viñas, P. (2018). Bilbao reduce la velocidad del tráfico a 30 km/h desde el 30 de junio. Deia, Noticias de Bizkaia. Extraído de:

<http://www.deia.eus/2018/06/05/bizkaia/bilbao/bilbao-reduce-la-velocidad-del-trafico-a-30-kmh-desde-el-30-de-junio>

[23] Los pasos de cebra en 3D llegan a España - Tecnocarreteras. (2018). Extraído de <https://www.tecnocarreteras.es/2018/05/21/9717/>

[24] Pérez Mendoza, S., & Borraz, M. (2018). La bicicleta en carretera: más ciclistas y más accidentes pero no más fallecidos. Extraído de https://www.eldiario.es/sociedad/bicicleta-carretera-ciclistas-accidentes-fallecidos_0_653735075.html

[25] Dirección General de Tráfico. (2017). *Balance de seguridad vial 2017* [Ebook] (pp. 13-23). Madrid. Extraído de:

<http://www.dgt.es/Galerias/prensa/2018/01/Presentacion-balance-siniestralidad-2017-completo..pdf>

[26] Margen de error en los velocímetros de los coches | www.dieselogasolina.com. (2016). Extraído de: <https://www.dieselogasolina.com/noticias/margen-de-error-en-los-velocimetros-de-los-coches.html>

[27] dgt, w. (2015). La DGT pone en marcha nuevas medidas para la gestión de la velocidad. Extraído de: <http://www.dgt.es/es/prensa/notas-de-prensa/2015/20150219-La-DGT-pone-en-marcha-nuevas-medidas-para-la-gestion-de-la-velocidad.shtml>

[28] Teórica común permiso B. (2018). 46460 Silla, Valencia: Aeol Service S.L., p.33.

[29] Punto Información Usuarios C-243c. (2018). Extraído de: <https://www.facebook.com/PIUC243c/>

